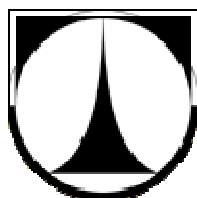
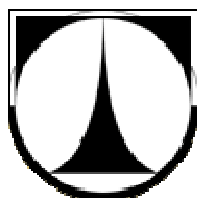


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra energetických zařízení



ALEŠ MATĚJÍČEK

Měření charakteristiky radiálního stupně turbokompresoru – 353 V1
Centrifugal compressor stage 353V1 performance curves
measurement

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Novotný, CSc

Počet stran: 51
Počet obrázků: 22
Počet tabulek: 10
Počet příloh: 1

Liberec 2010



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Aleš M A T Ě J Í Č E K

Studijní program: bakalářský – B2341 Strojírenství

Obor: 2302R022 Stroje a zařízení

Zaměření: Energetické stroje a zařízení

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Měření charakteristiky radiálního stupně turbokompresoru – 353 V1

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Radiální turbokompresor, teoretický obecný popis
2. Měřicí zařízení Darina III na pracovišti ČKD Nové Energo
3. Způsob měření parametrů ve zkušebně na turbokompresoru
4. Zpracování vybraných naměřených dat do grafů

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec (TUL) is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

Signature

Poděkování

Velice rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Novotnému, CSc. za odborné vedení mé bakalářské práce a cenné rady a připomínky, dále všem pracovníkům firmy ČKD NOVÉ ENERGO a především konzultantovi bakalářské práce Ing. Jiřímu Oldřichovi, CSc. za příjemnou spolupráci a cenné informace.

Anotace

Tato bakalářská práce popisuje měření na novém radiálním stupni s malou hltností a malým příkonovým součinitelem, vhodném pro stlačování lehkých plynů. Práce je rozdělena na několik částí. Po krátkém teoretickém úvodu následuje popis zkušební trati s kompresorem Darina III na zkušebně závodu ČKD Nové Energo. Další kapitola pojednává o použité měřicí technice. Zpracováním vybraných naměřených dat do grafů se zabývá poslední kapitola práce.

Klíčová slova

Stupeň radiálního kompresoru, měřicí trať, měřicí sondy, charakteristika.

Annotation

This thesis describes measurement on optimized centrifugal compressor stage for light gases compression providing low volumetric flows and low head coefficients.

Work is divided into several parts. After short theoretical introduction follows description of the test stand with compressor Darina III on CKD Nove Energo test workshop.

Next chapter discusses measuring instrumentation. Data processing and performance curves diagram construction is treated in the last chapter.

Key words

Centrifugal compressor stage, test stand, measuring sensors, performance curves

Obsah

Úvod	5
1. Radiální turbokompresor, teoretický obecný popis	6
1.1 Vznik značky ČKD	6
1.2 První Českomoravská strojírna v Praze, a.s.	6
1.3 Elektrotechnická akciová společnost, dříve Kolben a spol. Praha	7
1.4 Strojírenská akciová společnost, dříve Breitfeld – Daněk a spol.	7
1.5 Teorie radiálního stupně kompresoru	9
2. Měřicí zařízení Darina III na pracovišti ČKD Nové Energo	16
2.1 Konstrukční popis Dariny III	16
2.2 Popis měřicí trati na zkušebně závodu ČKD Nové Energo	17
3. Způsob měření parametrů ve zkušebně na turbokompresoru	26
3.1 Měření teploty termoelektrickými teploměry	26
3.2 Měření tlaku	28
3.2.1 Sondy statického tlaku	28
3.2.2 Sondy celkového tlaku	29
3.2.3 Tříotvorová sonda bez nastavení do směru proudu	29
3.2.4 Převodníky tlaku	31
3.3 Měření průtoku vzduchu	32
3.4 Měření průtoku oleje	32
3.5 Assmanův aspirační psychrometr	33
3.6 Měření otáček, kroutícího momentu a příkonu	33
3.7 Měřicí ústředna	34
4. Zpracování vybraných naměřených dat do grafů	35
4.1 Obecný postup přepočtu měření na návrhové parametry	36
4.2 Číselný příklad přepočtu měření na návrhové parametry	39
4.3 Vynesení zpracovaných hodnot do grafů	40

4.3.1 Charakteristiky stupně 353V1S, $I/D_2=3\%$	40
4.3.2 Charakteristiky stupně 353V1U, $I/D_2=1\%$	45
Závěr	49
Literatura	50

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:

Značka..... veličina

rozměr

Latinská abeceda

b	šířka oběžného kola	[m]
c	absolutní rychlost	[ms ⁻¹]
c _p	měrná tepelná kapacita při stálém tlaku	[Jkg ⁻¹ K ⁻¹]
e	měrná práce	[Jkg ⁻¹]
g	tíhové zrychlení	[ms ⁻²]
G	hmotnostní průtok	[kg h ⁻¹]
h	výška, měrná práce	[m], [Jkg ⁻¹]
i	měrná entalpie	[Jkg ⁻¹]
k	isoentropický mocnitel	[1]
l	měrná práce odvedená hřídelem navenek	[Jkg ⁻¹]
L	výkon odvedený hřídelem navenek	[W]
M _{u2}	srovnávací Machovo číslo, $M_{u2} = \frac{u_2}{\sqrt{k \cdot R \cdot T}}$	[1]
n	otáčky oběžného kola	[min ⁻¹]
N	výkon	[W]
p	tlak	[Pa]
P	výkon	[W]
q	měrné teplo	[Jkg ⁻¹]
Q	objemový průtok	[m ³ h ⁻¹]
r	restituční factor, poloměr	[1], [m]
R	měrná individuální plynová konstanta	[Jkg ⁻¹ K ⁻¹]
R _{e stroje}	Reynoldsovo číslo pro kompresor, $R_{e stroje} = \frac{u_2 \cdot b_2}{\nu_o}$	[1]
T	teplota	[K]
u	měrná vnitřní energie, obvodová rychlost	[Jkg ⁻¹],[ms ⁻¹]
v	měrný objem	[m ³ kg ⁻¹]
w	relativní rychlost	[ms ⁻¹]
z	kompresibilitní factor	[1]

Řecká abeceda

β	úhel lopatky oběžného kola, teoretický úhel proudu	[°]
χ	tlakové číslo	[1]
Δ	rozdíl	
Φ	průtokový součinitel	[1]
η	účinnost	[1]
ν	kinematická viskozita	[m ² s ⁻¹]
σ	příkonový součinitel	[1]

Index dolní

c	celkový
E	Eulerova práce

ef	efektivní
h	hydraulický
kin	kinematický
m	meridiánová složka rychlosti, měření
navrh	návrh, CFX výpočet
pol	polytropický, polohový
prep	přepočtený na návrhové podmínky (na podmínky výpočtu CFX)
s.....	isoentropický
sp.....	spojkový
u	obvodová rychlost
v	vyměňený s okolím
z	ztrátový
zh	ztrátový hydraulický
zT	ztrátový třením mezi krycím, nosným kotoučem a stěnou tělesa kompresoru
ucp	ucpávkový
uz	užitečný
0	rovina 0, (vstup do stupně)
7	rovina 7, (výstup ze stupně)

Úvod

V ČKD Nové Energo byl v poslední době obnoven výzkum a vývoj stupňů odstředivých kompresorů. V rámci tohoto vývoje se řeší dva úkoly:

- 1) optimalizace stávajících stupňů a
- 2) vývoj stupňů nových.

V dřívějších dobách byl postup vývoje zjednodušeně takovýto: ručně navržený a spočítaný stupeň, výroba zkušebního stupně v dílnách závodu, naměření požadovaných charakteristik, následné porovnání s teoretickými výpočty, v případě neshody následovala procedura od začátku.

V dnešní době se při vývoji používají moderní numerické metody pro výpočet proudění – CFD a celá situace se může výrazně zjednodušit a zrychlit. Za určitých předpokladů je možné vynechat zdlouhavou a nákladnou výrobu zkušebních stupňů i samotné experimentální ověření na zkušebním dmychadle. Předpokladem je spolehlivost numerického výpočtu, který bude vždy přes veškerou snahu pouze určitým zjednodušením reálného stupně. Tuto shodu ověřujeme porovnáním naměřených a vypočtených charakteristik v rámci optimalizace stupně 353 V1.

V ČKD Nové Energo se porovnávají jak charakteristiky stupně jako celku, tak i tlaky a teploty ve vybraných sedmi měřených rovinách stupně.

V této práci, po krátkém historickém a teoretickém úvodu, bude následovat popis měřicího zařízení Darina III, jak z hlediska konstrukčního, tak i uspořádání měření. V dalším kroku bude popsána měřicí technika a způsob sběru dat. Na závěr vybraná naměřená data zpracujeme a požadované charakteristiky vyneseme do grafů. Bude se jednat o charakteristiky tlakovou, příkonovou a účinnostní.

1 Radiální turbokompresor, teoretický obecný popis

1.1 Vznik značky ČKD

Značku ČKD řadíme v oborech elektrotechniky a strojírenství k nejvýznamnějším, nejstarším a nejznámějším značkám bývalého Československa a dnešní České republiky. Značka ČKD reprezentuje tradiční vysokou technickou úroveň svých výrobků spojenou s vysokou úrovní kvality.

Značka ČKD vznikla v době zlaté éry první republiky konkrétně v roce 1927, jejíž plný název zní „Českomoravská Kolben Daněk“ je složena z názvů tří společností, jejichž postupným spojením ČKD vznikla:

- První Českomoravská továrna na stroje v Praze, a.s.
- Elektrotechnická akciová společnost, původním jménem Kolben a spol. Praha
- Akciová společnost Strojírny - dříve Breitfeld-Daněk a spol.

Nově vzniklá společnost ČKD byla jedna ze dvou největších strojírenských firem v první polovině dvacátého století v Československu, s počtem přesahujících hranici 12 000 zaměstnanců, 250 000 m² plochy budov a 1,5 milionu m² pozemků.

Výroba ČKD se vyvíjela v duchu „od špendlíku až po lokomotivu“ – a snažila se obsáhnout úplný sortiment strojního a elektrotechnického zařízení pro energetický, chemický a potravinářský a i mnohý jiný průmysl. V ČKD se vyráběli kompresory, parní turbíny, vodní turbíny, průmyslové chladicí jednotky, jeřáby, lokomotivy, naftové motory, letadla a letecké motory, ocelové konstrukce budov a mostů, tanky a zemědělské stroje.

1.2 První Českomoravská továrna na stroje v Praze, a.s.

V roce 1871 v Praze – Libni byla založena tato strojírenská společnost. Od svého počátku se firma zaměřovala na výrobu strojů a zařízení pro chemický a potravinářský průmysl - lihovarů a cukrovarů, dále ocelové konstrukce mostů a budov, parní a vodní turbíny, parní kotle a parní stroje, průmyslové chlazení, jeřáby, lokomotivy, automobily Praga, naftové motory.

Mezi význačné projekty společnosti patří stavba Petřínské rozhledny, Průmyslového paláce na pražském výstavišti nebo kovová konstrukce jeviště v Národním divadle. Zahájení výroby kolejových vozidel se podařilo společnosti na přelomu 19. a 20. století a v roce 1909 zřizuje vlastní samostatnou Pražskou továrnu na automobily PRAGA, po předchozí tříleté spolupráci s firmou Ringhoffer.

1.3 Elektrotechnická akciová společnost, dříve Kolben a spol. Praha

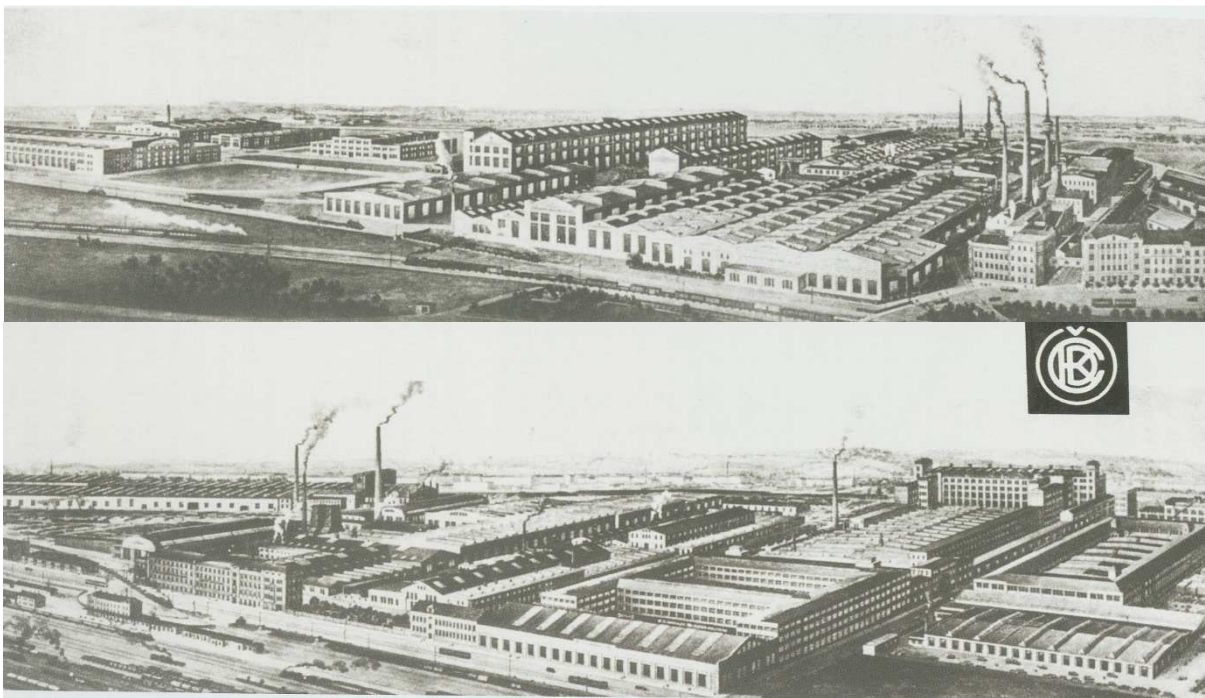
Kolben a spol. - elektrotechnická továrna Praha-Vysočany založil Ing. Dr. h. c. Emil Kolben 29. 10. 1896. Před založením vlastní společnosti pracoval na pozici vedoucího inženýra vývojových laboratoří firmy „Edison General Electric Company“ a též byl dlouholetý spolupracovník T. A. Edisona. Vybaven zkušenostmi přichází Emil Kolben do Prahy s myšlenkou nejmodernějších technologií. Po velice krátké době, již za 4 měsíce od založení, továrna nabízí a dodává jednofázové i třífázové alternátory a dynamy, motory a pohony jeřábů.

Kolben a spol. Praha v roce 1898 ve spolupráci Živnobankou mění název na Elektrotechnická akciová společnost. Společnost dodala veškeré elektrotechnické zařízení do elektrárny v Holešovicích. V roce 1901 začíná výroba vodních turbín a firma poskytuje i kompletní vybavení vodních elektráren. Firma zrealizovala 70 velkých elektráren a jejich rozveden a to do roku 1911. Mezi mnohými dalšími výrobky byly elektromotory, transformátory, elektrická zařízení výtahů a jeřábů, motory tramvají, světlomety i olejové vypínače.

V roce 1921 dochází k sloučení dvou velkých společností „Elektrotechnická a.s., dříve Kolben a spol. Praha“ a „První Českomoravské továrny na stroje v Praze, a.s.“ a nově vzniká Českomoravská-Kolben, a.s. obr. 1. Nově vzniklá společnost uzavřela smlouvu s firmou Westinghouse, která měla pro Českomoravskou-Kolben, a.s. zásadní význam. Smlouva zavazovala firmy k technické spolupráci a vzájemné výměně zkušeností. V roce 1923 byla dokončena dokumentace k nové elektrárně v Ervěnicích a součástí projektu bylo i vybavení pro dálkový přenos elektrické energie. V roce 1924 byla vyrobena tisící parní lokomotiva. Firma začíná připravovat projekt elektrizace železnic a nádraží v Praze. Dva roky na to se začínají vyrábět první elektrické lokomotivy.

1.4 Strojírenská akciová společnost, dříve Breitfeld-Daněk a spol.

Roku 1854 byla Čeňkem Daňkem založena firma „Daněk a spol.“, se specializací na cukrovarnické a hornické zařízení. Ke sloučení firem „Breitfeld & Evans“ s firmou „Daněk a spol.“ v Karlíně, došlo roku 1872 a vznikla firma „Strojírenská akciová společnost, dříve Breitfeld-Daněk a spol.“. Specializací firmy byla stavba parních strojů i kotlů, dodávky těžní zařízení do dolů, stroje do cukrovarů, lihovarů a pivovarů.

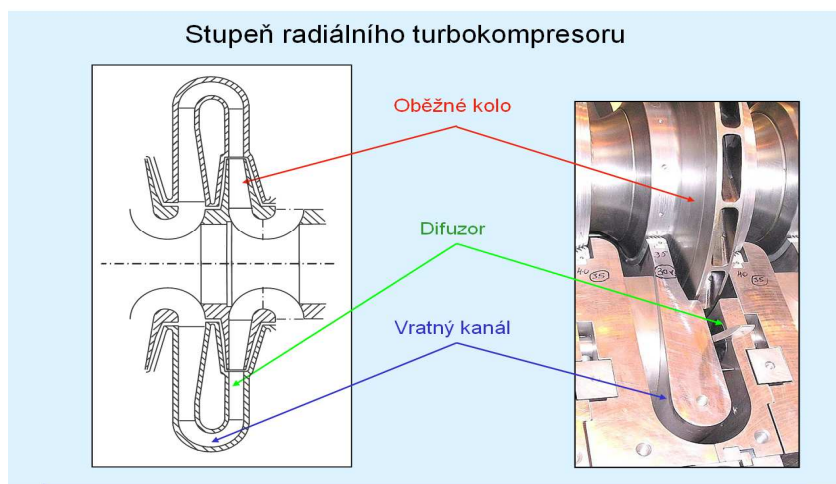


Obr. 1 Oba hlavní závody Českomoravská-Kolben, a.s. se rychle rozvíjeli (dvacátá léta) [17]

1.5 Teorie radiálního stupně kompresoru

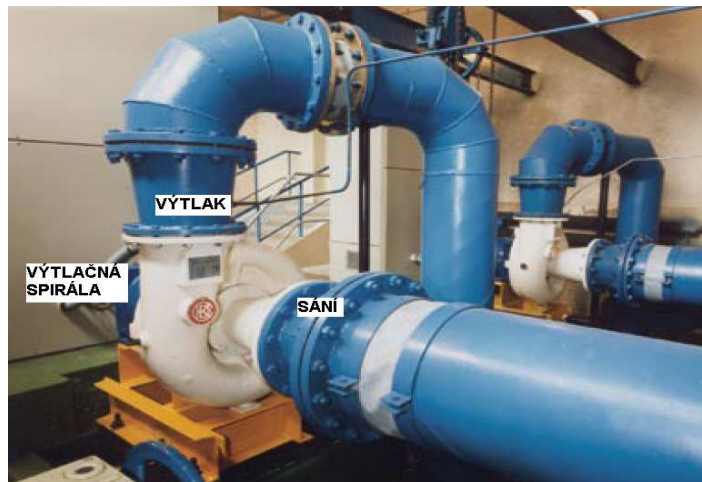
Radiální turbokompresory můžeme obecně zařadit do skupiny rychlostních kompresorů. Stlačení vzdušiny ve stupni kompresoru dosahujeme jeho zrychlováním a následnou přeměnou kinetické energie v energii tlakovou. Konkrétně se tak děje při průtoku činnou částí stroje – oběžným kolem s oběžnými lopatkami a za ním zařazeným difuzorem. Bude-li se oběžné kolo otáčet, bude působit odstředivá síla na vzdušinu v kanálech oběžného kola. Kanály oběžného kola jsou tvořeny vnitřními stěnami kotoučů a lopatkami. Působením odstředivé síly se vzdušina trvale pohybuje od vstupu k výstupu kanálu, od středu k okraji oběžného kola a tento proces probíhá kontinuálně.

V oběžném kole obr. 2 se vzdušinu předává mechanická energie, která je přiváděna pomocí hřídele od pohonu stroje. Zvýšení energie vzdušiny se objeví v nárůstu tepelné, „tlakové“ a kinetické energie v oběžném kole stupně. Po průchodu oběžným kolem má vzdušina vyšší teplotu, vyšší tlak a i rychlost než při vstupu do oběžného kola. Za oběžným kolem vzdušina vstupuje do difuzoru, ve kterém dochází k postupnému zvětšování průtočné plochy. Z rovnice kontinuity je zřejmé, že se postupně snižuje rychlost proudění a z Bernoulliho rovnice vyplývá, že se v difuzoru mění energie kinetická v energii „tlakovou“. Proudění plynu v difuzoru bývá obvykle usměrňováno difuzorovými lopatkami.



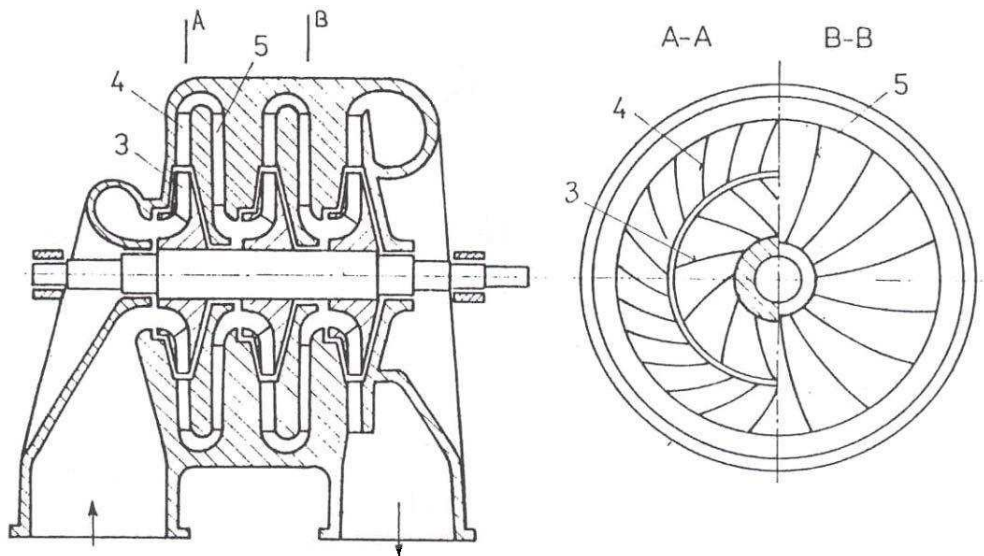
Obr. 2 Stupeň radiálního turbokompresoru ČKD s natáčecími lopatkami v difuzoru [3]

Pokud se jedná o jednostupňový kompresor, je za difuzorem vždy umístěna výtlačná spirála, nebo sběrná komora, kterou se stlačený plyn odvádí do výtlačku obr. 3.



Obr. 3 Jednokolový kompresor ČKD s výtláčnou spirálou zapojený do okruhu [3]

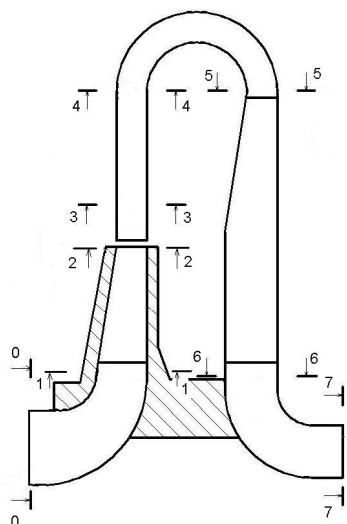
U vícestupňových kompresorů se převádí vzdušina do následujícího stupně vratnými kanály 5 obr. 4. K usměrnění proudící vzdušiny, (odstranění obvodové složky rychlosti, v případě bezlopatkového difuzoru vzdušina rotuje po logaritmické spirále) jsou umístěny ve vratném kanále lopatky.



Obr. 4 Řez třístupňovým radiálním kompresorem s horizontální dělicí rovinou [6]

Na obr. 4 v řezu A-A vidíme jak oběžné kolo kompresoru 3, tak i difuzor kompresoru 4 s lopatkováním. V řezu B-B je vidět vratný kanál 5 a jeho lopatky pro usměrnění proudu vzdušiny.

Práce kompresoru se řídí základní rovnicí tepelného stroje, která popisuje vztah mezi energií pracovní látky a přivedenou prací a teplem.



- 0 – 0 vstup do stupně
- 1 – 1 vstup do lopatek oběžného kola
- 2 – 2 výstup z lopatek oběžného kola
- 3 – 3 vstup do difuzoru – bezlopatkového
- 4 – 4 výstup z difuzoru – bezlopatkového
- 5 – 5 vstup do lopatek vratného kanálu
- 6 – 6 výstup z lopatek vratného kanálu
- 7 – 7 výstup ze stupně

Obr. 5 Průtočný prostor stupně radiálního turbokompresoru [3]

Základní rovnice tepelného stroje (dle [18] str. 17)

$$l + \Delta e_{kin}|_0^7 + \Delta e_{pol}|_0^7 + e_z|_0^7 = i_0 - i_7 + q_v + q_z = - \int_0^7 v dp \quad [J \cdot kg^{-1}] \quad (1)$$

e_z - velikost ztrát připadající na 1 kg pracovní látky bývá vždy kladné hodnoty

Energie kinetická

$$\Delta e_{kin}|_0^7 = \frac{c_7^2 - c_0^2}{2} \quad (2)$$

Energie polohová

$$\Delta e_{pol}|_0^7 = g \cdot (h_7 - h_0) \quad (3)$$

Entalpie na vstupu do stupně

$$i_0 = u_0 + p_0 \cdot v_0 \quad (4)$$

Entalpie na výstupu ze stupně

$$i_7 = u_7 + p_7 \cdot v_7 \quad (5)$$

Rovnici (1) můžeme přepsat do tvaru

$$-l = \int_0^7 v dp + \Delta e_{kin}|_0^7 + \Delta e_{pol}|_0^7 + e_z|_0^7 = \int_0^7 v dp + \Delta e_{kin}|_0^7 + \Delta e_{pol}|_0^7 + e_{zh}|_0^7 + e_{zT} \quad [J \cdot kg^{-1}] \quad (6)$$

kde jsme dosadili

$$e_z|_0^7 = e_{zh}|_0^7 + e_{zT} \quad (7)$$

Pro dodávané množství G_{uz} můžeme rovnici (6) psát ve tvaru

$$(-L) = \left(\int_0^7 v dp + \Delta e_{kin}|_0^7 + \Delta e_{pol}|_0^7 + e_{zh}|_0^7 \right) \cdot (G_{uz} + G_{ucp}) + N_{zT} \quad [J \cdot s^{-1}] \quad (8)$$

kde jsme zohlednili skutečnost, že oběžným kolem, kde dochází k přenosu energie, protéká ne pouze množství G_{uz} , ale množství G_{uz} zvětšené o ucpávkové ztráty G_{ucp} .

Zpětně pro 1 kg dodávaného užitečného průtoku můžeme rovnici (8) přepsat na tvar

$$(-l) = \left(\int_0^7 v dp + \Delta e_{kin}|_0^7 + \Delta e_{pol}|_0^7 + e_{zh}|_0^7 \right) \cdot \left(1 + \frac{G_{ucp}}{G_{uz}} \right) + \frac{N_{zT}}{G_{uz}} \quad [J \cdot kg_{uz}^{-1}] \quad (9)$$

$(-l)$ nyní představuje práci, kterou je třeba přivést na hřídel kompresoru pro stlačení 1 kg užitečného (kompresorem dodávaného) množství.

Dle [19] str. 32 lze tuto práci vyjádřit také takto

$$(-l) = (1 + \beta_{ucp} + \beta_{zT}) \cdot h_E \quad (10)$$

kde β_{ucp} značí poměrnou ucpávkovou ztrátu

$$\beta_{ucp} = \frac{G_{ucp}}{G_{uz}} \quad (11)$$

a β_T poměrnou třecí ztráta krycího a nosného kotouče

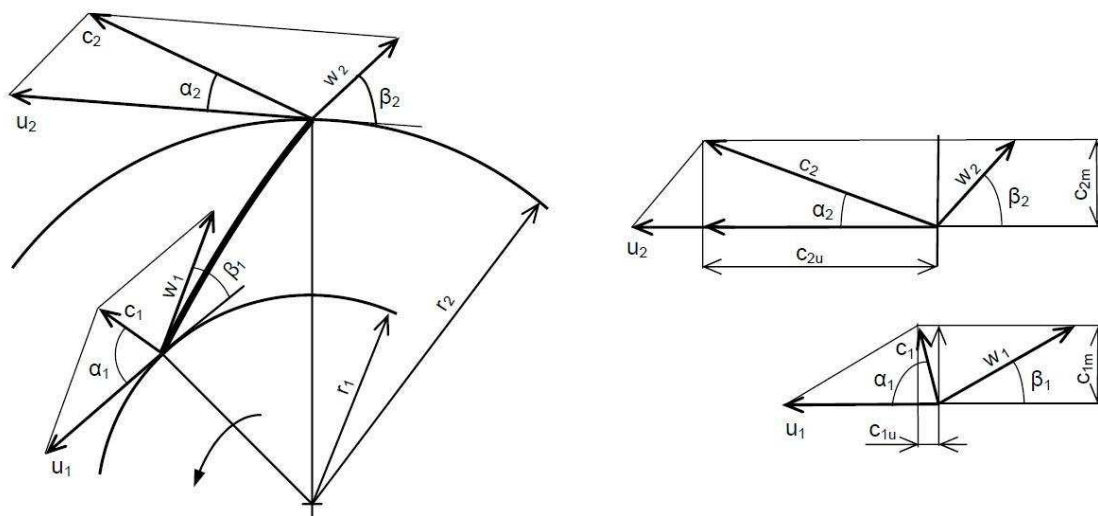
$$\beta_{zT} = \frac{N_{zT}}{G_{uz} \cdot h_E} \quad (12)$$

Porovnáním (9) s (10) s ohledem na (11) a (12) vychází

$$h_E = \int_0^7 v dp + \Delta e_{kin}|_0^7 + \Delta e_{pol}|_0^7 + e_{zh}|_0^7 \quad (13)$$

kde h_E značí Eulerovu práci

$$h_E = u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1} \quad (14)$$



Obr. 6 Rychlostní trojúhelníky na vstupu a na výstupu z oběžného kola [1]

Při vstupu do lopatek oběžného kola obr. 6 proudí vzdušina absolutní rychlostí c_1 na poloměru r_1 . Obvodová rychlost na tomto poloměru je u_1 . Relativní rychlost vzhledem k oběžnému kolu je w_1 . Velikost a směr relativní rychlosti w_1 je dán rozdílem vektorů absolutní rychlosti c_1 a vektorem unášivé obvodové rychlosti u_1 . Z důvodu dosažení bezrázového vstupu vzdušiny do oběžného kola, musí být lopatky na vstupu skloněny k tečně kružnice s poloměrem r_1 pod úhlem β_1 , který je stejný se sklonem relativní rychlosti w_1 . K sestrojení vstupního trojúhelníku je nutná znalost úhlu sklonu α_1 absolutní rychlosti c_1 vůči obvodové rychlosti u_1 , nebo velikost její meridiální složky rychlosti c_{1m} . Vlivem rotace oběžného kola je vzdušina od radiálního směru odkláněna. Z toho plyne, že úhel proudu α_1 , je o něco menší než 90° .

Za předpokladu nekonečného počtu nekonečně tenkých lopatek, bude průběh proudnic v oběžném kole totožný s tvarem lopatek. Vzdušina bude vystupovat z kola relativní rychlostí w_2 pod úhlem β_2 , totožným se sklonem lopatky na výstupu z kola. Vektorový součet relativní a obvodové rychlosti na výstupu z oběžného kola určí absolutní rychlost c_2 odkloněnou od unášivé rychlosti o úhel α_2 . Tato rychlost se podobně jako rychlost relativní rozkládá na složku unášivé rychlosti c_{2u} a složku meridiální rychlosti c_{2m} .

Vlivem konečného počtu lopatek konečné tloušťky dochází k odklonu vektoru relativní rychlosti w_2 od tečny k lopatce na výstupu z oběžného kola. V důsledku toho se zmenší složka absolutní rychlosti c_{2u} a tím také předaná práce.

Rovnici (13) lze také přepsat do tvaru

$$h_E = h_{ef} + e_{zh} \Big|_0^7 \quad (15)$$

kde

$$h_{ef} = \int_0^7 v dp + \Delta e_{kin} \Big|_0^7 + \Delta e_{pol} \Big|_0^7 \quad (16)$$

Po zavedení hydraulické účinnosti stupně (dle [19] str. 32)

$$\eta_h = \frac{h_{ef}}{h_E} \quad (17)$$

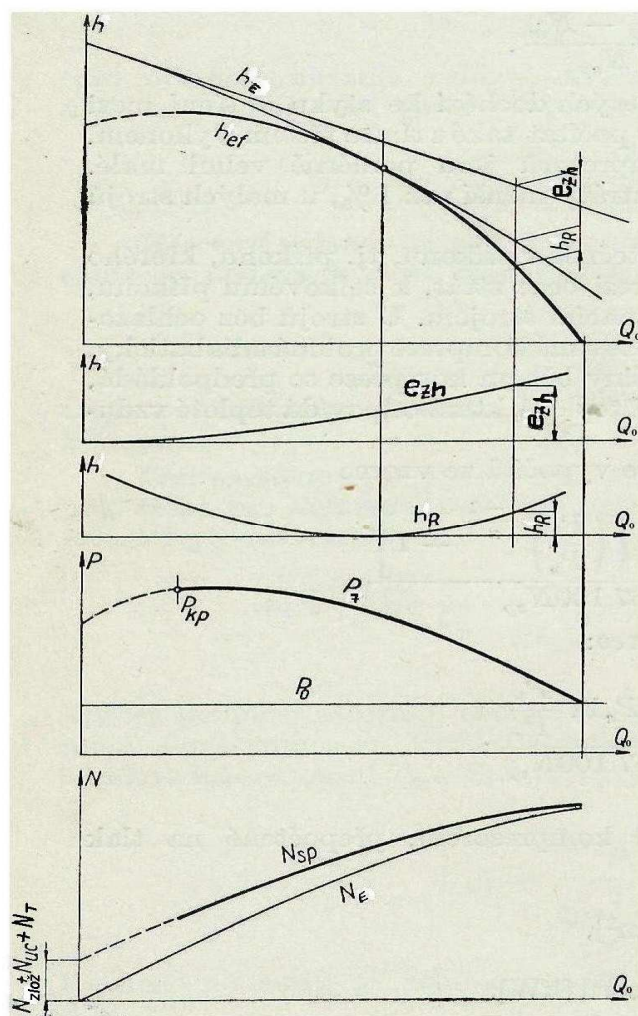
Píšeme rovnici (12) ve tvaru

$$h_{ef} = \eta_h \cdot h_E \quad (18)$$

Pomocí rovnice (18) můžeme bezprostředně vynést charakteristiku stupně v souřadnicích $h_{ef} = f(Q_7)$. V praxi se charakteristika vyjadřuje jako měrná práce, nebo stlačení vztažené na objemový, nebo hmotnostní průtok na výtlaču přepočtený na stav na sání. Také bychom to mohli říct, jako objemový průtok přepočtený na standardní podmínky $h_{ef} = f(Q_0)$ viz obr. 7. Přitom je třeba zohlednit stlačitelnost vzdušiny a skutečnost, že v Q_7 je také obsaženo parazitní množství vzdušiny protékající labyrintovou ucpávkou krycího kotouče oběžného kola.

Máme – li vynesenu charakteristiku $h_{ef} = f(Q_0)$ můžeme také vynést charakteristiku $p_7 = f(Q_0)$, kterou získáme vyjádřením p_7 z rovnice (16). Ve spodní části obr. 7 se nachází příkonové charakteristiky, kde

$$N_E = h_E \cdot (G_{uz} + G_{ucp}) = h_E \cdot G_{uz} \cdot \left(1 + \frac{G_{ucp}}{G_{uz}}\right) = h_E \cdot G_{uz} \cdot (1 + \beta_{ucp}) \quad (19)$$



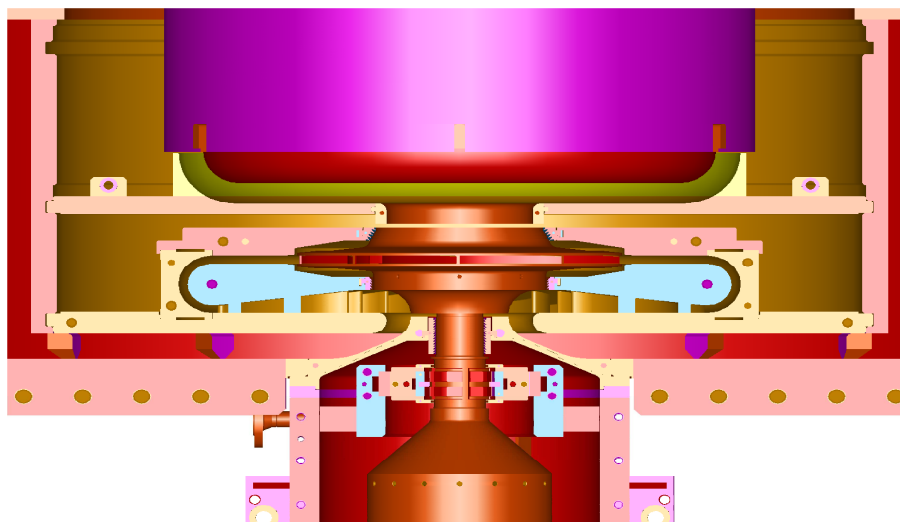
Obr. 7 Skutečný průběh charakteristiky radiálního stupně [1] str. 64

2 Měřicí zařízení Darina III na pracovišti ČKD Nové Energo

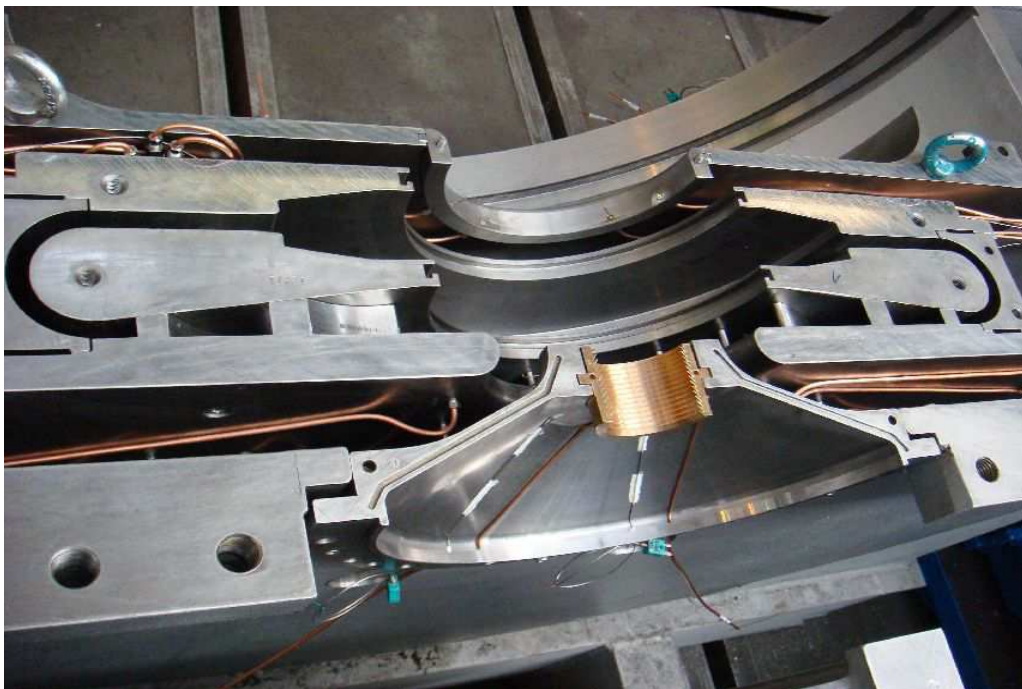
2.1 Konstrukční popis Dariny III

Zkušební zařízení Darina III je novou generací zkušebního jednokolového turbodmychadla, koncepčně vycházející z předcházejících typů stejného jména. Zkušební turbodmychadlo se již několikrát v minulosti ukázalo jako dobrý prostředek k získání potřebných dat a charakteristik z měření u nově vyvinutých a optimalizovaných radiálních stupňů. Zařízení bylo koncipováno jako univerzální zkušební stand, což znamená, že lze na Darině III vyměňovat různé radiální stupně. V první etapě probíhalo experimentální ověření optimalizovaných radiálních 2D stupňů 353V1 a 354V1 a to jak ve variantě úzkého tak i širokého kola. Následovat bude experimentální ověření i na nových radiálních 3D stupních. Při měření každého nového stupně proběhne výměna vnitřních částí Dariny III. Na měřicím standu zůstává pouze vnější skříň stroje, ložisková část a hřídel.

Zkušební zařízení Darina III obr. 11 bylo navrženo a řešeno formou diplomové práce. Dmychadlo bylo vyrobeno jako jednokolové turbodmychadlo s horizontální dělicí rovinou se sběrnou komorou. Oběžné kolo je umístěno na převislém konci hřídele jak je vidět na obr. 8. Na straně krycího kotouče je oběžné kolo těsněno proti statoru ucpávkou v podobě odstupňovaného labyrintu s břity ve statoru. Na straně nosného kotouče je těsnění prováděno labyrintovou ucpávkou s břity ve statoru. Rotor je uložen ve dvojici radiálních segmentových ložisek a v jednom oboustranném axiálním segmentovém ložisku. Prostor ložisek je od průtočné části oddělen také labyrintovou ucpávkou s břity ve statoru obr. 9. Ložiska jsou navržena pro 3D stupně.



Obr. 8 Zkušební dmychadlo Darina III - pohled do dělicí roviny, model [3]



Obr. 9 Zkušební dmychadlo Darina III – kompletace v dílnách závodu [14]

2.2 Popis měřicí trati na zkušebně závodu ČKD Nové Energo

Zkušební měřicí trať byla postavena na zkušebně závodu na základě návrhu, který byl zpracován formou diplomové práce nynějšího pracovníka zkušebny pod dohledem a za pomoci odborníků zkušebny a řešitelů projektu.

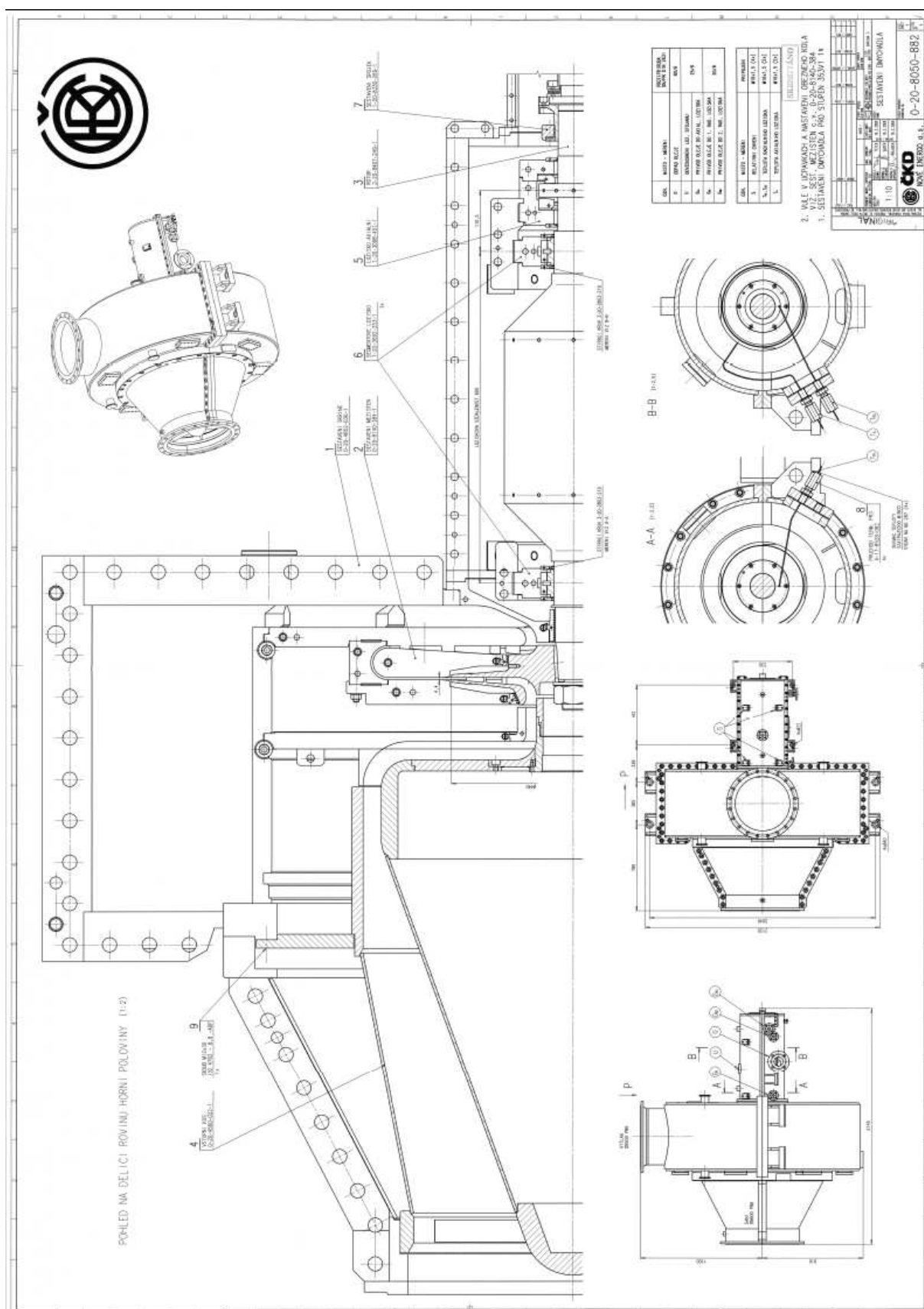
Pro fungování zkušebního turbodmychadla je nutné jeho zařazení do zkušební trati obr. 10. Tato trať byla vybudována ve zkušebně závodu společnosti ČKD Nové Energo. Sání celé soustavy bylo realizováno vertikálně umístěným sací potrubím DN350 PN6 s sacím otvorem ve výšce necelých 6 metrů nad podlahou zkušebny. Bylo to z důvodu potřeby konstantních podmínek v sání, zamezení nasávání prachových částic a dále z důvodu bezpečnosti práce. Další důvod vertikálního sacího potrubí byl co nejmenší zabraný prostor na zkušebně závodu. Bylo také potřeba docílit dostatečně uklidněného proudu vzduchu před průtokoměrem a následně jej umístit tak, aby do první měřicí roviny b – b nevstupoval proud vzduchu rozvířený. Na sání Dariny III byl umístěn přechod z DN350 na DN600. Následuje jednokolové dmychadlo Darina III umístěné na společném rámu s převodovou skříní. Kompresor je poháněn elektromotorem s výkonem 1200 kW, neboť musí pokrýt spotřebu i příkonově náročnějších oběžných kol, které se budou měřit v následujících etapách. Výtlačné potrubí je redukováno z DN500 na DN400 a dále je zde umístěno regulační šoupátko DN400 PN6. Šoupátko slouží k nastavení bodu charakteristiky pomocí škrcení na výtlačném potrubí.

Zkušební zařízení Darina III bylo bohatě osazeno měřicí technikou. Měření probíhalo současně ve všech stanovených rovinách. Měřicí roviny dle obr. 12 byly osazeny na základě doporučení AHT Energetika, dříve SVÚSS Běchovice. Měřicí roviny byly osazeny tab. 1 až 8 termočlánky, čidly celkového a statického tlaku, tříotvorovými sondami bez nastavení do směru proudu a hmotnostním průtokoměrem vzduchu v sání. Dále dle obr. 13 se měřil odděleně průtok oleje do převodovky a do ložiskové skříně dmychadla, teploty oleje na vstupech, respektive výstupech jak převodovky, tak i ložiskového stojanu Dariny III, krouticí moment a otáčky dynamometrem, vlhkost vzduchu byla měřena Assmanovým psychrometrem. Ostatní měřené veličiny slouží pro sledování provozního stavu soustrojí jako celku.

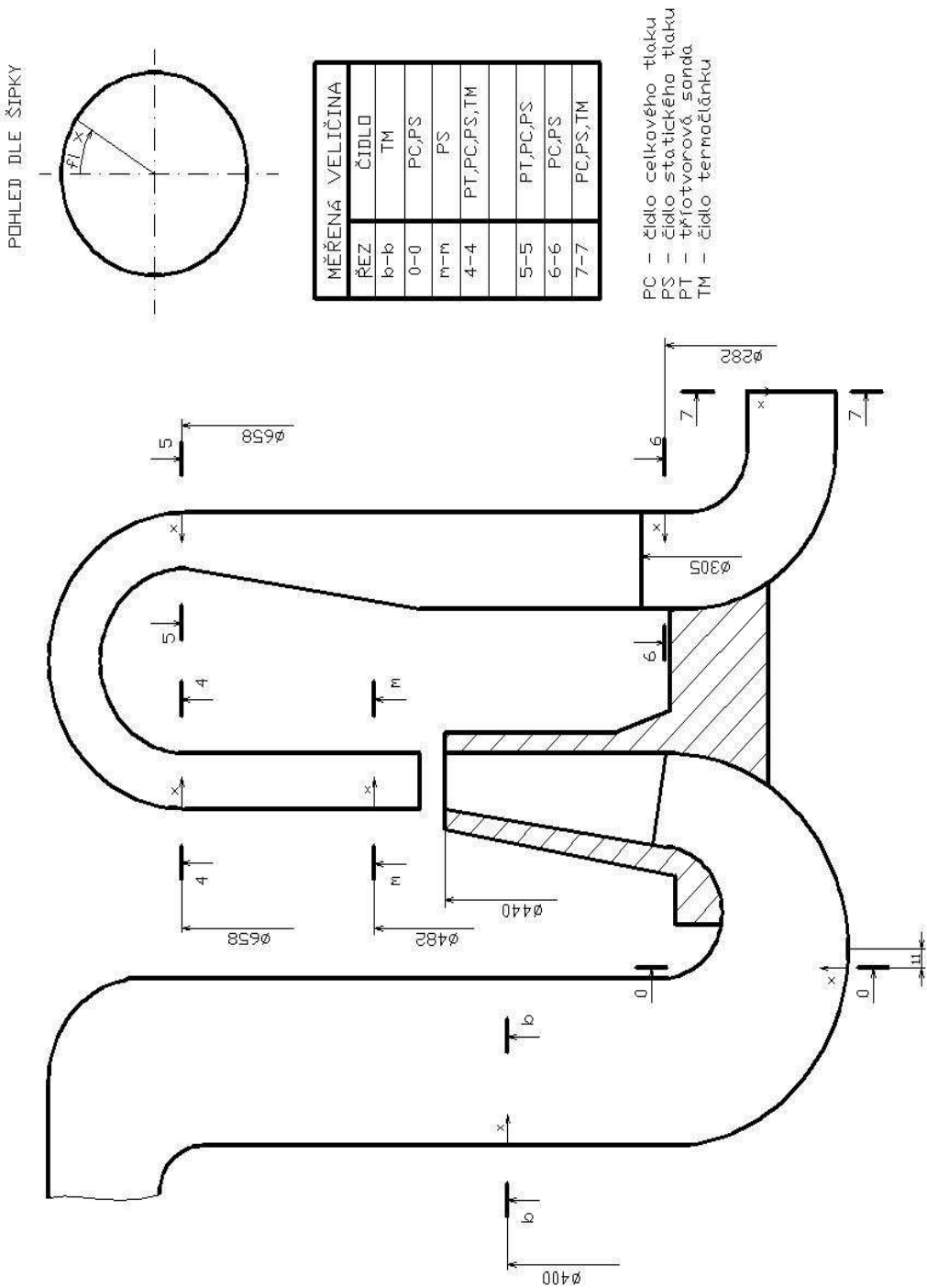


Obr. 10 Dokončená měřicí trať se zapojenými odběrnými místy [14]

Obr. 11 Sestavení dmychadla Stupeň 353V1U [14]



Obr. 12 Schéma rozmístění měřících rovin v průtočné části turbodmychadla [14]



Tab. 1 popis značení jednotlivých sond a čidel

značka	celk.počet	popis
PC	21	čidlo celkového tlaku
PS	39	čidlo statického tlaku
PT	18	tříotvorová sonda
TM	11	čidlo termočlánu
B,0,M,4,5,6,7		třetí znak v označení čidla značí rovinu měření
01 až 12		čtvrtý a pátý znak v označení čidla značí pořadí v dané rovině
PT411 až PT533		čtvrtý a pátý znak v označení tříotvorové sondy značí pořadí sondy v dané rovině (1 – 3) a měřený výstup každého odběru tlaku (1 – 3)

První rovina měření, značíme ji b – b, je rovina před vstupem do stupně. V této rovině měříme teplotu čtyřmi termočlávkovými čidly, pro zjištění teploty nasávaného vzduchu.

Tab. 2 měřicí rovina b-b, termočlávková čidla

rovina b	φ [°]	x [mm]	pozn.
TMB01	20	4,1	
TMB02	200	12,4	
TMB03	110	20,7	
TMB04	290	28,9	

Druhá rovina měření, značíme ji 0 – 0, se nachází na vstupu do stupně. V této rovině měříme čtyřmi čidly statického a čtyřmi čidly celkového tlaku.

Tab. 3 měřicí rovina 0-0, čidla statického a celkového tlaku

rovina 0	φ [°]	x [mm]	pozn.
PC001	65	4,8	
PC002	245	13,8	
PC003	155	22	
PC004	335	29,5	
PS001	40	33	
PS002	130	33	
PS003	220	33	
PS004	310	33	

Třetí rovina měření, značíme ji m – m, se nachází v rovině vstupu do difuzoru. V této rovině měříme dvanácti čidly statického tlaku. Vždy jsou čidla umístěna proti sobě, jedno čidlo v krycí stěně a druhé čidlo v mezistěně.

Tab. 4 měřicí rovina m-m, čidla statického tlaku

rovina m	φ [°]	x [mm]	pozn.
PSM01	7	0	proti PSM07
PSM02	67	0	proti PSM08
PSM03	127	0	proti PSM09
PSM04	187	0	proti PSM10
PSM05	247	0	proti PSM11
PSM06	307	0	proti PSM12
PSM07	7	13,2	na lopatce č.6
PSM08	67	13,2	na lopatce č.9
PSM09	127	13,2	na lopatce č.12
PSM10	187	13,2	na lopatce č.15
PSM11	247	13,2	na lopatce č.18
PSM12	307	13,2	na lopatce č.3

Čtvrtá rovina měření, značíme ji 4 – 4, se nachází v rovině na vstupu do vratného ohybu - za difuzorem. V této rovině měříme šesti čidly statického a třemi čidly celkového tlaku, teplotu třemi termočláňkovými čidly, dále zde jsou umístěny tři tříotvorové sondy bez nastavení do směru proudu.

Tab. 5 měřicí rovina 4-4, čidla statického a celkového tlaku, termočláňková čidla a tříotvorové sondy

rovina 4	φ [°]	x [mm]	pozn.
TM402	150	6,6	
TM403	330	11	
TM404	240	2,2	
PT411	0	6,6	
PT412	0	6,6	
PT413	0	6,6	
PT421	75	11	
PT422	75	11	
PT423	75	11	
PT431	120	2,2	
PT432	120	2,2	
PT433	120	2,2	
PC401	180	6,6	
PC402	255	11	
PC403	300	2,2	
PS401	45 (42)	0	proti PS404
PS402	165 (162)	0	proti PS405
PS403	285 (282)	0	proti PS406

PS404	45 (42)	13,2	na lopatce č.9
PS405	165 (162)	13,2	na lopatce č.15
PS406	285 (282)	13,2	na lopatce č.3

Pátá rovina měření, značíme ji 5 – 5, se nachází v rovině na výstupu z vratného ohybu – vstupu do vratného kanálu. V této rovině měříme šesti čidly statického a třemi čidly celkového tlaku, dále zde jsou umístěny tři tříťvorové sondy bez nastavení do směru proudu.

Tab. 6 měřicí rovina 5-5, čidla statického, celkového tlaku a tříťvorové sondy

rovina 5	φ [°]	x [mm]	pozn.
PT511	35	10	střed kanálu mezi lop. 8 a 9
PT512	35	10	střed kanálu mezi lop. 8 a 9
PT513	35	10	střed kanálu mezi lop. 8 a 9
PT521	295	6	střed kanálu mezi lop. 3 a 4
PT522	295	6	střed kanálu mezi lop. 3 a 4
PT523	295	6	střed kanálu mezi lop. 3 a 4
PT531	155	2	střed kanálu mezi lop. 14 a 15
PT532	155	2	střed kanálu mezi lop. 14 a 15
PT533	155	2	střed kanálu mezi lop. 14 a 15
PC501	215	10	střed kanálu mezi lop. 17 a 18
PC502	115	6	střed kanálu mezi lop. 12 a 13
PC503	335	2	střed kanálu mezi lop. 5 a 6
PS501	235	0	střed kanálu mezi lop. 18 a 1
PS502	315	0	střed kanálu mezi lop. 4 a 5
PS503	15	0	střed kanálu mezi lop. 7 a 8
PS504	75	0	střed kanálu mezi lop. 10 a 11
PS505	135	0	střed kanálu mezi lop. 13 a 14
PS506	195	0	střed kanálu mezi lop. 16 a 17

Šestá rovina měření, značíme ji 6 – 6, se nachází v rovině bezprostředně za lopatkami vratného kanálu. V této rovině měříme třemi čidly statického a třemi čidly celkového tlaku.

Tab. 7 měřicí rovina 6-6, čidla statického, celkového tlaku a termočláňková čidla

rovina 6	φ [°]	x [mm]	pozn.
PC601	10	18	střed kanálu mezi lop. 5 a 6
PC602	130	18	střed kanálu mezi lop. 11 a 12
PC603	250	18	střed kanálu mezi lop. 17 a 18
PS601	50		střed kanálu mezi lop. 7 a 8
PS602	170		střed kanálu mezi lop. 13 a 14
PS603	290		střed kanálu mezi lop. 1 a 2

Tab. 8 měřicí rovina 7-7, čidla statického, celkového tlaku a termočlánková čidla

rovina 7	φ [°]	x [mm]	pozn.
PC701	10	4,8	
PC702	150	13,8	
PC703	50	22	
PC704	110	29,5	
PC705	190	4,8	
PC706	330	13,8	
PC707	230	22	
PC708	290	29,5	
TM701	30	4,8	
TM702	130	13,8	
TM703	210	22	
TM704	310	29,5	
PS701	70	33	
PS702	170	33	
PS703	250	33	
PS704	350	33	
PS705	70	0	
PS706	170	0	
PS707	250	0	
PS708	350	0	

[illegible]

Seznam teplotních odběrů

Označení	Měřicí místo	Provedení
TMAZ	teplota mazacího oleje z bloku	termočlánek J
TM1	teplota ložiska motoru	Pt 100
TM2	teplota ložiska motoru	Pt 100
TP1	teplota ložiska převodovky	termočlánek J
TP2	teplota ložiska převodovky	termočlánek J
TP3	teplota ložiska převodovky	termočlánek J
TP4	teplota ložiska převodovky	termočlánek J
TL1	teplota radiálního ložiska	termočlánek T
TL2	teplota rad. části komb. ložiska	termočlánek T
TL3	teplota ax. části - vnitřní strana	termočlánek T
TL4	teplota ax. části - vnější strana	termočlánek T
TVM	teplota vody z motoru	termočlánek J
TVB	teplota vody z chladiče olej. bloku	termočlánek J
T111	teplota z průtokoměru vzduchu	Pt 100
T12	teplota na výtlaku	termočlánek J
TOK	teplota okolí	termočlánek J
TE62	teplota oleje na výstupu z převodovky	termočlánek J
TE65	teplota oleje na výstupu z lož. skříně	termočlánek J

Seznam tlakových odběrů

Označení	Měřicí místo	Rozsah (bar)	Převodník
PBAR	barometrický tlak	0,9÷1,1	Rosemount 2088
PMAZ	mazací olej	0÷6	Unipres 80
P62	vstup oleje do převodovky	0÷4	Unipres 80
P64	vstup oleje do rad. ložiska	0÷4	Unipres 80
P651	rad. část komb. ložiska	0÷4	Unipres 80
P652	ax. část komb. ložiska	0÷4	Unipres 80
PW	tlak vody do chladičů	0÷10	Unipres 80
PS11R	tlak z průtokoměru vzduchu	0÷1,5	Rosemount 2088
DS11	tlaková diference z průtokoměru	±0,62	Rosemount 3051
PS12R	tlak na výtlaku turbodmychadla	0÷5	Honeywell STG 140

Seznam průtokoměrů

Označení	Měřicí místo	Rozsah (l/min)
Q62	vstup oleje do převodovky	10÷100
Q64	vstup oleje do ložiskové skříně	10÷100

Seznam ostatních veličin

Označení	Měřená veličina	Poznámka
TM	teplota mokrého teploměru	aspirační psychrometr
TS	teplota suchého teploměru	aspirační psychrometr
PM1	tlak oleje na volném konci motoru	ručíkový manometr 0÷1 bar
PM2	tlak oleje u spojky motoru	ručíkový manometr 0÷1 bar
OTM	otáčky měřené dynamometrem	
MK	kroučící moment z dynamometru	
NSPD	příkon spojkový	výpočet z OTM a MK

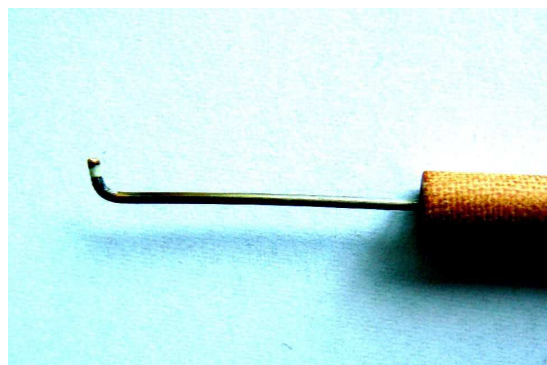
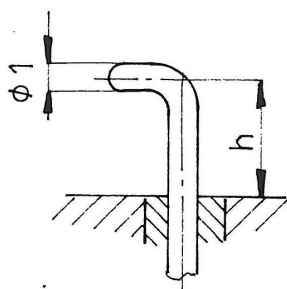
3 Způsob měření parametrů ve zkušebně na turbokompresoru

3.1 Měření teploty termoelektrickými teploměry

Měření teploty ve stanovených rovinách bylo prováděno pomocí termoelektrických teploměrů. Vyznačují se malými rozměry, naprosto dostačující přesností a krátkým reakčním časem. Další důležitou vlastností je snadný převod teploty na elektrický signál, jenž vychází ze samotného termoelektrického principu a v neposlední řadě je to i příznivá cena. Také se měření teploty provádělo odporovými teploměry Pt 100, které jsou součástí kluzných ložisek elektromotoru i ložisek Dariny III. Tímto typem teploměru se měřila i teplota v sacím potrubí.

Z důvodu dobrých zkušeností v ČKD Nové Energo, byly použity termočlánky typu J, T a K. Termočlánky typu J se používali k provozním měření a skládají se z materiálů Fe-CuNi, které jsou na konci svařeny, jejich teplotní rozsah je 0 až 750 °C a běžná přesnost 0,75%. K měření teplot v kluzných ložiskách se použily originální plášťové termočlánky typu T od firmy Minco. U tohoto typu termočlánku se používá kombinace materiálů Cu-CuNi, jejichž teplotní rozsah je -200 až 350°C. Umístění jednotlivých typů snímačů teploty nalezneme v obr. 13 - schéma umístění snímačů a seznam měřených provozních veličin.

Měření teplot v průtočné části měřeného stupně se provádělo termočlánky typu K obr. 14 od firmy AHT Energetika. Ke konstrukci termoelektrického článku byl využit plášťovaný termočlánekový drát Ni-CrNi od firmy Omega. Průměr ocelového pláště 1 mm, třída přesnosti 1 a průměrem drátků 0,15 mm. Termočlánekový spoj je letován pomocí stříbrné pájky a není vodivě spojen s ocelovým pláštěm. Termoelektrický článek typu K má měřicí rozsah -200 až 1250 °C. Použití je možné v oxidačním, redukčním, nebo inertním prostředí nebo i ve vakuu.



Obr. 14 Teplotní sonda termoelektrické čidlo typu K [13], [14]

Celková teplota proudícího plynu T_c se stanoví dle vztahu

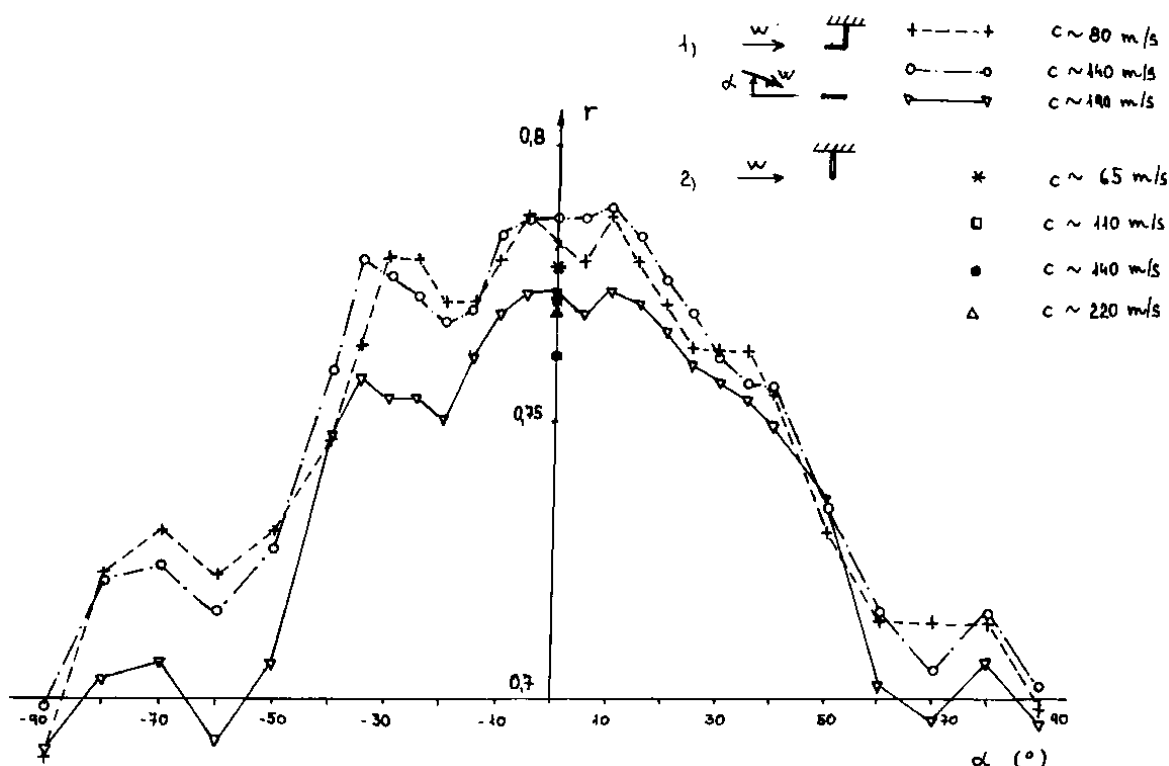
$$T_c = T_{c,m} + \frac{(1-r) \cdot c^2}{2 \cdot c_p} \quad (20)$$

kde $T_{c,m}$ – teplota vyhodnocená z kalibrační závislosti teplotní sondy,

r – restituční faktor (anglicky recovery factor) termočlánku,

c – rychlost proudu,

c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku



Obr. 15 Závislost restitučního faktoru na úhlu proudu plynu [14]

[13] Restituční faktor r vyjadřuje nedokonalost zbrždění proudu v čidle teploty. Restituční faktor byl stanoven experimentálně na zařízení pro dynamickou kalibraci teplotních sond v ČKD Kompresory na zkušebně DR4 před cca 20 lety. Měření se provádělo tak, že termočlánek se umístil mezi dvě rovnoběžné desky vzdálené od sebe 4,5 mm. Tyto desky byly umístěny uvnitř potrubí. Z naměřených dat byly stanoveny závislosti restitučního faktoru na úhlu proudu α pro tři hodnoty rychlosti $c = 80, 140$ a 190 m/s. Z grafu na obr. 15 plyne, že restituční faktor je přibližně nezávislý na úhlu proudu α ve velkém rozsahu hodnot $\pm 40^\circ$ pro všechny tři hodnoty rychlostí c . Hodnota součinitele r je v rozmezí $r = 0,76$ až $0,78$.

3.2 Měření tlaku

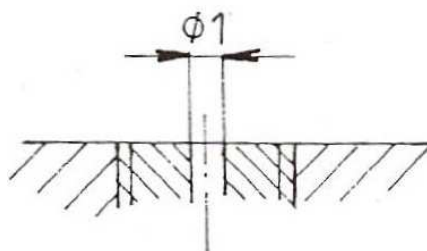
Měření tlaku a tlakové difference ve stanovených měřících rovinách se provádělo třemi typy čidel. Jednalo se o čidlo statického tlaku, čidlo celkového tlaku a třítvorové sondy bez nastavení do směru proudu. Všechny tlakové sondy byly vyrobeny firmou AHT Energetika.

Měřený tlak se od čidla vede impulsním potrubím k tlakovým převodníkům. Celkové a statické tlaky v rovinách „m“, 4,5,6 jsou měřeny z důvodu přesnosti diferenčně.

Tyto difference jsou v každé výše uvedené rovině vztaženy k jednomu absolutně měřenému statickému tlaku.

3.2.1 Sondy statického tlaku

Sondy statického tlaku, lze vidět na obr. 16, nebylo nutné kalibrovat, protože byly konstrukčně provedeny přesně podle doporučení platných norem.



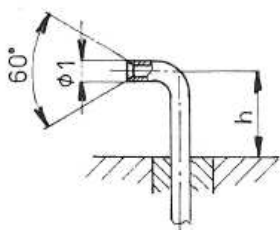
Obr. 16 Sondy statického tlaku [14]



Obr. 17 Sonda celkového a statického tlaku v rovině 0 – 0 [14]

3.2.2 Sondy celkového tlaku

Měření celkového tlaku bylo realizováno Pitotovou sondou. Konstrukční řešení je patrné z obr. 18.



Obr. 18 Sonda celkového tlaku [14]

U všech sond byla zjišťována citlivost na vstupní úhel proudu. Z kalibračních měření bylo zjištěno, že relativní chyba stanovení celkového tlaku pomocí kalibrovaných sond je menší než 0,5 % resp. 1% v rozsahu hodnot úhlu proudu $\alpha \in (-19^\circ; +17^\circ)$ resp. $\pm 20^\circ$.

3.2.3 Tříotvorová sonda bez nastavení do směru proudu

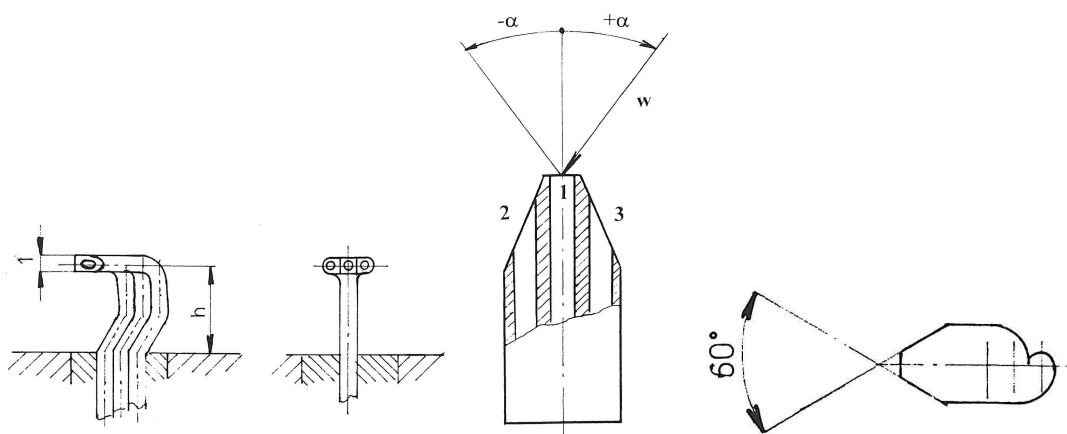
Tříotvorovou sondou bez nastavení do směru proudu (3OTV) můžeme určit statický, dynamický a potažmo i celkový tlak a dále směr proudu α obr. 19.

3OTV byly při měření umístěny v rovinách 4-4 a 5-5. Tak můžeme kontrolovat velikost změny úhlu proudu ve vratném ohybu a dále úhel náběhu na lopatku vratného kanálu.

Tyto hodnoty nás zajímají při detailním zkoumání dějů v průtočné části a využijeme je při vyhodnocování správnosti nastavení vstupního úhlu lopatky ve vratném kanále.

Při určování celkových charakteristik stupně nás tyto hodnoty nezajímají.

Konstrukce tříotvorové sondy je patrná z obr. 19



Obr. 19 Konstrukce tříotvorové sondy bez nastavení do směru proudu [13]

Vyhodnocení měření z údajů 3OTV probíhalo za pomoci třech bezrozměrných součinitelů, jejichž závislost na úhlu α je předem známa z kalibračních listů. Kalibrační listy byly získány z měření provedeném společností AHT Energetika.

Součinitele k_α , k_d a k_s jsou definovány dle následujících vztahů dle [13]:

$$k_\alpha = \frac{p_2 - p_3}{p_1 - \frac{p_2 + p_3}{2}} \quad (21)$$

$$k_d = \frac{p_1 - p_3}{p_d} \quad (22)$$

$$k_s = \frac{p_1 - p_s}{p_d} \quad (23)$$

Vyhodnocení probíhá následovně:

A) Vypočte se hodnota součinitele k_α z rovnice (21). Z kalibrační závislosti

$k_\alpha = k_\alpha(\alpha)$ se odečte hodnota úhlu α .

B) Z kalibrační závislosti $k_d = k_d(\alpha)$ se pro hodnotu úhlu α z bodu (A) odečte

hodnota k_d . Potom z rovnice (22) se vypočte hodnota dynamického tlaku p_d .

$$p_d = \frac{p_1 - p_3}{k_d} \quad (24)$$

C) Z kalibrační závislosti $k_s = k_s(\alpha)$ se pro hodnotu úhlu α z bodu (A) odečte

hodnota k_s . Potom z rovnice (23) se vypočte hodnota statického tlaku p_s

$$p_s = p_1 - k_s \cdot p_d \quad (25)$$

D) Celkový tlak se stanoví z rovnice

$$p_c = p_s + p_d \quad (26)$$

Při kalibraci úhel proudu α byl nastaven s nejistotou $\pm 0,5\%$. Tlaky byly měřeny tlakoměrem od firmy Greisinger s přesností ± 3 Pa. Rychlost proudu byla přibližně 50 ms^{-1} .

3.2.4 Převodníky tlaku

Snímaný tlak je třeba pro další zpracování převést na elektrický signál. V našem případě byly zvoleny deformační membránové tlakové převodníky se standardizovaným proudovým výstupem. Tyto převodníky jsou použity pro měření tlaku a tlakové difference ve stanovených rovinách v kanálech Dariny III. Počet a typy použitých tlakových převodníků jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab. 9 Použité tlakové převodníky

Měřená veličina	Typ	Rozsah [kPa]	Počet	Přesnost [%]
Tlak	Rosemount 2088 A 1	90 ÷ 110	1	0,1
Tlak	Rosemount 2088 A 1	80 ÷ 110	8	0,1
Tlak	Rosemount 2088 G 2	0 ÷ 150	5	0,1
Tlak	Rosemount 2088 G 2	0 ÷ 125	16	0,1
tlak. difference	Rosemount 3051 CD	±62,2	1	0,04
tlak. difference	Cressto TMDG 448Z3F	±40	11	0,5
tlak. difference	Cressto TMDG 468Z3F	±60	39	0,5
Tlak	UNIPRESS 80	0 ÷ 630	1	0,5
Tlak	UNIPRESS 80	0 ÷ 400	4	0,5
Tlak	UNIPRESS 80	0 ÷ 1000	1	0,5
Tlak	Honeywell STG 140 2083	0 ÷ 300	1	0,2

Pro snímání tlaků ve stanovených měřicích rovinách byly zvoleny tlakové membránové převodníky Rosemount 2088 SMART. Převodníky jsou kalibrovány na požadované měřené tlaky. Díky dodanému komunikačnímu rozhraní lze měnit měřicí rozsah v poměru až 20:1.

Snímání tlakové difference bylo prováděno tlakovými převodníky s křemíkovým piezoelektrickým čidlem Cressto model Z s možností nastavení rozsahu tlaku ±40 kPa a ±60 kPa. Z hlediska rozsahu tlaku jsou křemíkové membrány určeny pro tlaky nižší než membrány keramické.

Celkové a statické tlaky v měřených rovinách m, 4, 5 a 6 jsou měřeny diferenčními převodníky. V každé z měřených rovin je jeden statický tlak měřen absolutně a zbylé tlaky se v této rovině měří diferenčně, k tomuto tlaku. I když mají diferenční tlakoměry přesnost nižší, než tlakoměry absolutní, přesnost měření tlaku se výrazně nezhorší. Důvodem je, že tlaková difference je několikrát menší než hodnota měřeného absolutního tlaku.

Ve výtlačném potrubí je snímání tlaku zajištěno deformačním tlakovým převodníkem Honeywell STG.

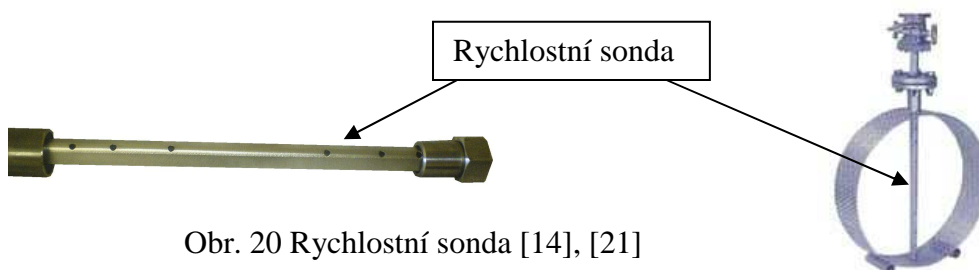
Měření tlakové difference na sání dmyhadla, na sondě Flowbar, je provedeno snímačem tlakové difference Rosemount 3051.

U měření tlaku oleje a chladicí vody byl použit tlakový převodník Unipres 80, převodník má standardizovaný proudový výstup bez možnosti nastavení měřeného rozsahu.

3.3 Měření průtoku vzduchu

Hmotnostní průtok vzduchu byl měřen v sacím potrubí Dariny III. To znamená, že jsme měřili hmotnostní množství dodávané zvětšené o ztráty vnější hřídelovou ucpávkou.

Hmotnostní průtok vzduchu byl měřen průtokoměrem Flowbar (obr. 20). Princip měření spočívá v měření rozdílu tlaků mezi náběžnou hranou a odtokovou hranou rychlostní sondy.



Obr. 20 Rychlostní sonda [14], [21]

Tlaková difference se měří pomocí převodníku Rosemount 3051. Pro zjištění hmotnostního toku je ještě třeba znát tlak a teplotu. Statický tlak byl měřen převodníkem 2088 a teplota termočlánkem Pt 100 umístěným v jímce.

Měřidlo Flowbar se vyznačuje malou trvalou tlakovou ztrátou. Přesnost měření výrobce uvádí 1% z nastaveného rozsahu.

Rozsah měření použitého průtokoměru je od 12 000 do 30 000 kg h^{-1} .

3.4 Měření průtoku oleje

Pro zjišťování mechanických ztrát v ložiskách Dariny III je třeba měřit teploty a průtoky oleje.

Průtok oleje byl měřen oválovým průtokoměrem od firmy Bopp&Reuther.

Princip měřidla spočívá v měření otáček oválných rotorů. Počet otáček za jednotku času je měřítkem objemového průtoku oleje.

Měřicí rozsah 10 až 100 lmin⁻¹, dovolenou teplotu měřeného media -40 až 180 °C. Přesnost měření $\pm 0,3\%$ z měřicího rozsahu.

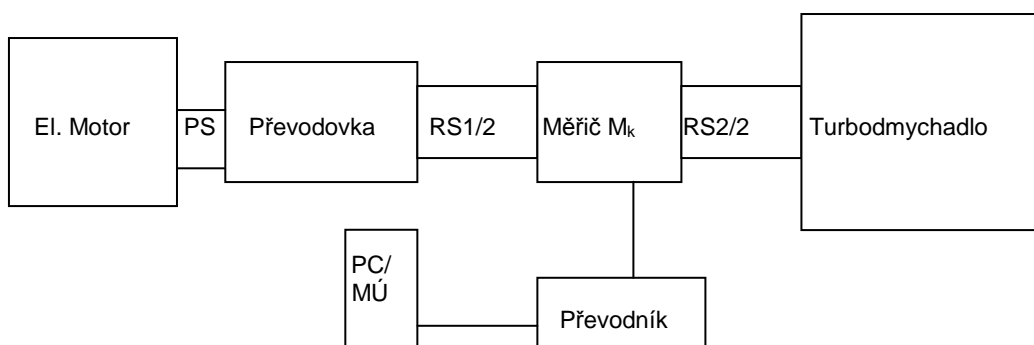
3.5 Assmanův aspirační psychrometr

Pro měření vlhkosti vzduchu byl zvolen Assmanův aspirační psychrometr. Podmínky použitelnosti, tj. teplota plynu vyšší než 0°C a relativní vlhkost do 90%, byly na zkušební závodu splněny.

3.6 Měření otáček, krouticího momentu a příkonu

Jednou z metod měření vnitřního příkonu stupně je měření příkonu na spojce dmyhadla s následným odečtením mechanických ztrát v ložiskách dmyhadla.

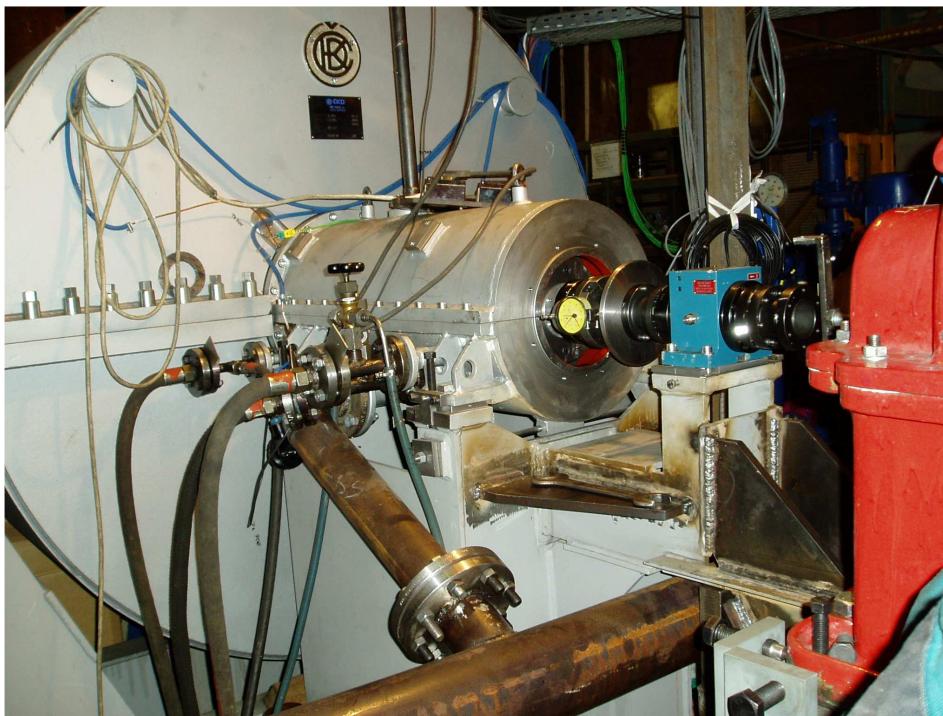
Darina III je proto osazena rychloběžnou spojkou s torzní tyčkou John Crane a měřičem krouticího momentu Torquetrone ET 1100S obr. 21 a 22. Zařízení umožňuje provoz v obou směrech otáčení. Zařízení neměří přímo příkon stupně, ale měří krouticí moment na spojce dmyhadla a otáčky hřídele. Z těchto dvou hodnot lze snadno určit příkon na spojce dmyhadla.



Obr. 21 Schéma sestavení jednotky pro měření příkonu; PS – pomaloběžná spojka, RS - rychloběžná spojka, MÚ – měřicí ústředna [14]

Parametry měřiče:

Maximální krouticí moment	120	Nm
Maximální otáčky	16 400	min ⁻¹
Relativní přesnost při maximálním krouticím momentu	+ - 0,18	%
Relativní přesnost při 40 Nm.....	+ - 0,5	%
Přesnost měření otáček	0,1	%
Citlivost měření krouticího momentu z nastaveného rozsahu.....	0,01	%
Citlivost snímání otáček	1	min ⁻¹



Obr. 22 Pohled na měřič krouticího momentu Torquetronic ET 1100S při montáži [3]

3.7 Měřicí ústředna

[14] Sběr a zpracování dat je prováděno přes měřicí ústřednu Peekel Instruments Autolog 2100, která je součástí vybavení zkušebny závodu. Měřicí ústředna dokáže zpracovávat elektrické napětí, ale nedokáže zpracovávat elektrický proud. Protože většina vstupních signálů je proudových ($4 \div 20$)mA, je ústředna navíc vybavena přesnými rezistory s odporem 50 Ω . Zpracovávanou veličinou je tak elektrické napětí v rozsahu ($0 \div 1$) V, která se pomocí ústředny a počítačového programu Autosoft NT převádí na hodnotu měřené fyzikální veličiny. Propojení ústředny a počítače je zajištěno rozhraním RS232. Rozlišení ústředny je 1 μ V/V, nejistota ústředny je 290 μ V při rozsahu 10V a 29 μ V při nastaveném rozsahu 1V.

4 Zpracování vybraných naměřených dat do grafů

V první etapě byly na zkušebním dmychadle proměřeny stupně s malou hltností 353V1 a 354V1.

Dále se zabýváme pouze stupněm 353V1 tab. 10.

Tab. 10 Přehled měřených stupňů

Typ stupně	výstupní šířka ob. kola	M_2	n ot/min
353V1S	3%	0,5	7460
353V1S	3%	0,9	13428
353V1U	1%	0,5	7460
353V1U	1%	0,9	13428

Provedené podrobné měření umožnilo jak prověření shody mezi numerickým modelem a skutečným stupněm ve všech sledovaných kontrolních rovinách, tak i získání celkových charakteristik uvedených stupňů, které slouží jako zdrojová data do návrhového programu radiálního kompresoru (NRK), používaném v oddělení termodynamických výpočtů v ČKD Nové Energo.

V této kapitole se budeme zabývat celkovými charakteristikami, které získáme z měření v rovinách na vstupu a výstupu ze stupně Dariny III. Měření probíhalo tak, že po nastavení bodu charakteristiky, pomocí regulační armatury umístěné ve výtláčném traktu a ustálení proudění, proběhlo odečtení sledovaných veličin v časovém rozmezí 10 sekund 5krát po sobě. Takto naměřené hodnoty bylo třeba nejdříve zpracovat. V prvním kroku data z vybraných rovin zprůměrujeme, následně zprůměrované hodnoty přepočteme na návrhové podmínky. Návrhovými podmínkami se myslí podmínky použité při numerickém výpočtu optimalizovaného stupně v programu CFX.

Návrhové parametry jsou:

$$u_{2,navrh} = u_{2,CFX}$$

$$p_{c,0,navrh} = p_{c,0,CFX}$$

$$T_{c,0,navrh} = T_{c,0,CFX}$$

$$zR_{0,navrh} = f(T_{c,0,CFX}, p_{c,0,CFX}, real.vlh.vzduch)$$

$$k_{0,navrh} = f(T_{c,0,CFX}, p_{c,0,CFX}, real.vlh.vzduch)$$

4.1 Obecný postup přepočtu měření na návrhové parametry

1) Průměrování naměřených veličin

Přes všechny čidla v jednom čase a pak následně přes všechny časy pro daný bod charakteristiky. Pro průměrování byl používán aritmetický průměr.

2) Přepočet na návrhové podmínky

Aby bylo možné provést srovnání výsledků získaných z měření (např. $p_{c,7,m}$) s výsledky získanými z numerického výpočtu ($p_{c,7,CFX}$) je třeba nejdříve naměřené zprůměrované veličiny přepočíst ($p_{c,7,m,prep}$) podle určitých pravidel na návrhové parametry. To znamená, že jestliže se např. teplota na vstupu do stupně při měření neshodovala s teplotou na vstupu do stupně při výpočtu v CFX je třeba tuto skutečnost nějak zohlednit. To se děje na základě teorie podobnosti. Tato nám říká, že je-li zachována geometrická podobnost průtočné části mezi měřením a návrhem a platí-li pro podobnostní kritéria

$$Mu_{2,m} = Mu_{2,navrh}, Re_{stroje,m} = Re_{stroje,navrh}, \frac{v_{0,m}}{v_{7,m}} = \frac{v_{0,navrh}}{v_{7,navrh}}, \quad (27)$$

(pro vztahy (27) rovnosti platí teoreticky, v praxi se připouští meze viz [20]) lze pro

$$\Phi_{0,m,prep} = \Phi_{0,m} = \frac{4 \cdot Q_{0,m,prep}}{\pi \cdot D_2^2 \cdot u_{2,navrh}} = \frac{4 \cdot Q_{0,m}}{\pi \cdot D_2^2 \cdot u_{2,m}} \text{ psát:}$$

$$A) \quad \eta_{pol,m,prep} = \eta_{pol,m} \quad (28)$$

kde

$$\eta_{pol,prep} = \eta_{pol,m} = \frac{k_{0,m} - 1}{k_{0,m}} \cdot \frac{\ln \frac{p_{c7,m}}{p_{c0,m}}}{\ln \frac{T_{c7,m}}{T_{c0,m}}} \quad (29)$$

$$B) \quad \chi_{s,m,prep} = \chi_{s,m} \quad (30)$$

kde

$$\chi_{s,m,prep} = \frac{\Delta h_{s,m,prep}}{u_{2,navrh}^2} \quad (31)$$

$$\chi_{s,m} = \frac{\Delta h_{s,m}}{u_{2,m}^2} \quad (32)$$

$$\Delta h_{s,m,prep} = z_{0,navrh} \cdot R_{0,navrh} \cdot T_{0,navrh} \cdot \frac{k_{0,navrh}}{k_{0,navrh} - 1} \left(\left(\frac{p_{c,7,m,prep}}{p_{c,0,navrh}} \right)^{\frac{k_{0,navrh}-1}{k_{0,navrh}}} - 1 \right) \quad (33)$$

$$\Delta h_{s,m} = z_{0,m} \cdot R_{0,m} \cdot T_{0,m} \cdot \frac{k_{0,m}}{k_{0,m} - 1} \cdot \left(\left(\frac{p_{c,7,m}}{p_{c,0,m}} \right)^{\frac{k_{0,m}-1}{k_{0,m}}} - 1 \right) \quad (34)$$

$$C) \quad \sigma_{m,prep} = \sigma_m \quad (35)$$

kde

$$\sigma_{m,prep} = \frac{\Delta h_{celk,m,prep}}{u_{2,navrh}^2} \quad (36)$$

$$\sigma_m = \frac{\Delta h_{celk,m}}{u_{2,m}^2} \quad (37)$$

$$\Delta h_{celk,m,prep} = c_{p,0,m,navrh} (T_{c,7,m,prep} - T_{c,0,navrh}) \quad (38)$$

$$\Delta h_{celk,m} = c_{p,0,m} (T_{c,7,m} - T_{c,0,m}) \quad (39)$$

Přepočtové vztahy nyní získáme takto:

Přepočet hmotnostního množství získáme ze vztahu $\Phi_{0,m,prep} = \Phi_{0,m}$

$$G_{0,m,prep} = G_{0,m} \cdot \frac{n_{navrh}}{n_m} \cdot \frac{\rho_{0,navrh}}{\rho_{0,m}} \quad (40)$$

Přepočet tlaku $p_{c,7,m}$ na $p_{c,7,m,prep}$ získáme tak, že do rovnice (30) dosadíme z (31) a (32).

Dále dosadíme za $\Delta h_{s,m,prep}$ z rovnice (33) a vyjádříme $p_{c,7,m,prep}$. Takto získáme

$$p_{c,7,m,prep} = p_{c,0,navrh} \left(\Delta h_{s,m} \cdot \frac{u_{2,navrh}^2}{u_{2,m}^2} \cdot \frac{k_{0,navrh} - 1}{k_{0,navrh} \cdot z R_{0,navrh} \cdot T_{c,0,navrh}} + 1 \right)^{\frac{k_{0,navrh}}{k_{0,navrh} - 1}} \quad (41)$$

Přepočet teploty $T_{c,7,m}$ na $T_{c,7,m,prep}$ získáme tak, že do rovnice (35) dosadíme z (36) a (37). Dále dosadíme za $\Delta h_{c,m,prep}$ z rovnice (38) a vyjádříme $T_{c,7,m,prep}$. Takto získáme

$$T_{c,7,m,prep} = \frac{\Delta h_{celk,m} \frac{u_{2,navrh}^2}{u_{2,m}^2} + c_{p,0,navrh} \cdot T_{c,0,navrh}}{c_{p,0,navrh}} \quad (42)$$

Vnitřní příkon přepočtený získáme z rovnice

$$P_{i,m,prep} = \Delta h_{celk,m,prep} G_{m,prep} \quad (43)$$

Vnitřní příkon počítáme pro tento případ z tepelné bilance. Kdybychom totiž chtěli využít výsledků z měření dynamometru, museli bychom odečíst třecí ztráty v ložiskách Dariny III. Ložiskové ztráty ale představovaly cca 30% příkonu dmychadla. Dle normy [20] je stanoveno, že pokud ztráty v ložiskách jsou větší než 10% příkonu dmychadla, měl by se měřit vnitřní příkon z oteplení.

Pro ukázkou postupu výpočtu, číselně vypočítáme jeden bod z každé uvedené charakteristiky pro stupeň 353V1S, $l/D_2=3\%$ při $M_2=0,9$.

4.2 Číselný příklad přepočtu měření na návrhové parametry

Číselný přepočet jednoho bodu charakteristik pro naměřené protékající množství 6680 kg h^{-1} . (pro stupeň 353V1S a srovnávací Machovo číslo 0,9).

Dle rovnice (40):

$$G_{0,m,prep} = 6680 \cdot \frac{309,36}{307,1} \cdot \frac{1,188}{1,169} = 6839 \quad [\text{kg s}^{-1}]$$

Dle rovnice (41):

$$P_{c,7,m,prep} = 100000 \cdot \left(21505 \cdot \frac{309,36^2}{307,10^2} \cdot \frac{1,4-1}{1,4 \cdot 1 \cdot 287 \cdot 293,15} + 1 \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 128430 \quad [\text{Pa}]$$

Dle rovnice (42):

$$T_{c,7,m,prep} = \frac{34544 \cdot \frac{309,36^2}{307,10^2} + 1005 \cdot 293,15}{1005} = 328 \quad [\text{K}]$$

Dle rovnice (29):

$$\eta_{pol,prep} = \eta_{pol,m} = \frac{1,4-1}{1,4} \cdot \frac{\ln \frac{127345}{99863}}{\ln \frac{331}{297}} = 0,64 \quad [1]$$

Dle rovnice (43):

$$P_{i,m,prep} = \Delta h_{celk,m,prep} G_{m,prep} = 35054 \cdot \frac{6839}{3600} = 66593 \quad [\text{W}]$$

4.3 Vynesení zpracovaných hodnot do grafů

4.3.1 Charakteristiky stupně 353V1S, $l/D_2=3\%$

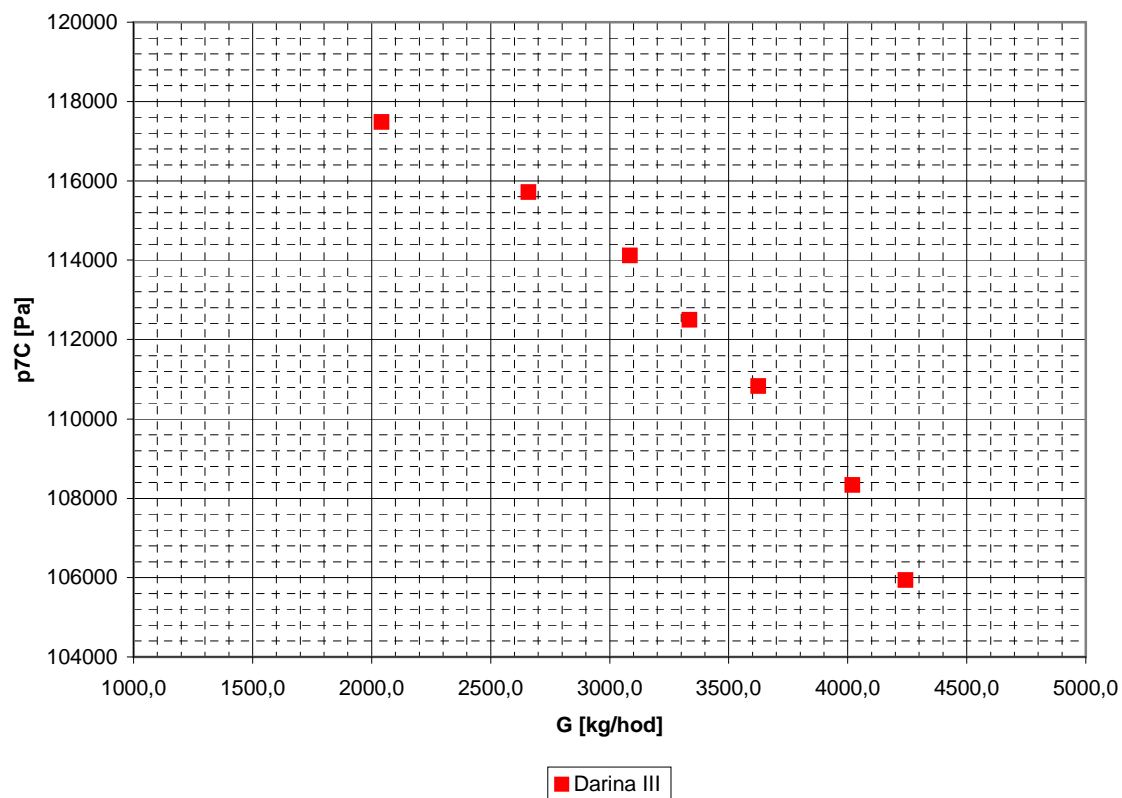
Seznam charakteristik

- Zobrazení naměřených charakteristik $p_{c7} - G$ a $\eta_{pol} - G$ při $M_2=0,5$
- Zobrazení naměřených charakteristik $p_{c7} - G$ a $\eta_{pol} - G$ při $M_2=0,9$
- Závislost polytropické účinnosti na hmotnostním průtoku pro srovnávací Machova čísla $M_2=0,5$ a $M_2=0,9$
-
- Závislost celkového tlaku na výstupu ze stupně (rovina 7) a vnitřního příkonu stupně vypočteného z oteplení v závislosti na hmotnostním průtoku pro srovnávací Machova čísla $M_2=0,5$ a $M_2=0,9$

Zobrazení naměřených charakteristik $p_{c7} - G$ a $\eta_{pol} - G$ při $M_2=0,5$

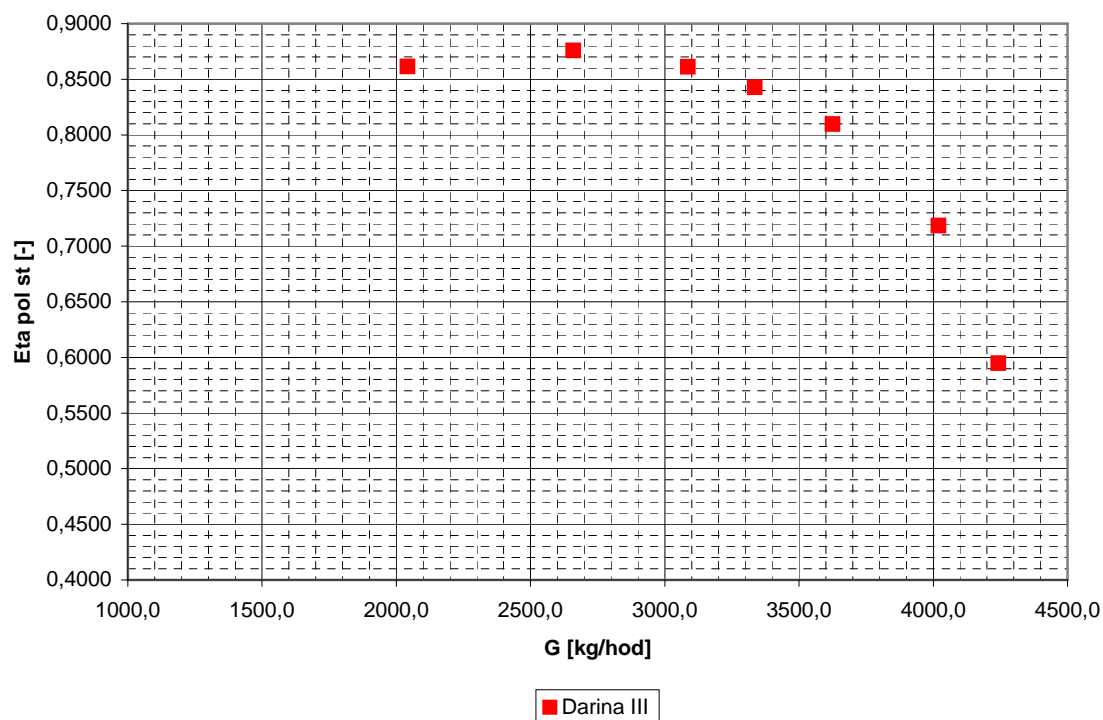
Graf 1.

Tlak na výstupu $p_{7c} = f(G)$, $l/D2=3\%$, $M=0,5$, 353V1S



Graf 2.

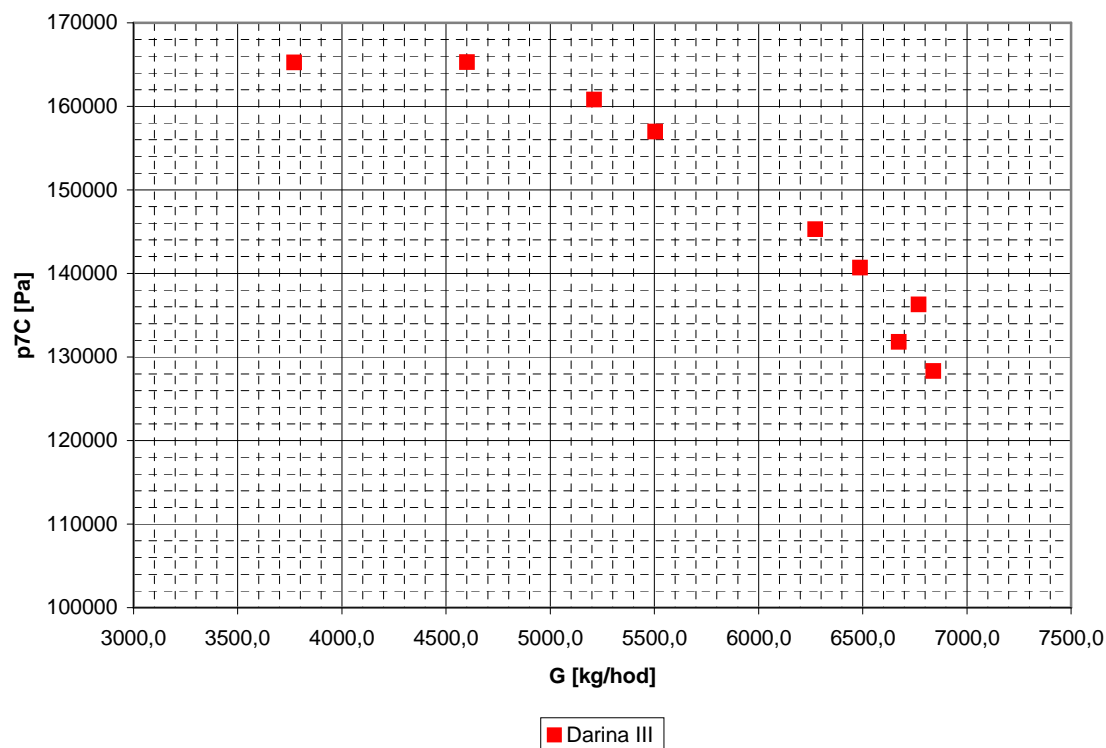
Účinnost stupně (polytropická, vnitřní) $\eta_{pol.st.} = f(G)$,
 $l/D2=3\%$, $M=0,5$, 353V1S



Zobrazení naměřených charakteristik $p_{c7} - G$ a $\eta_{pol} - G$ při $M_2=0,9$

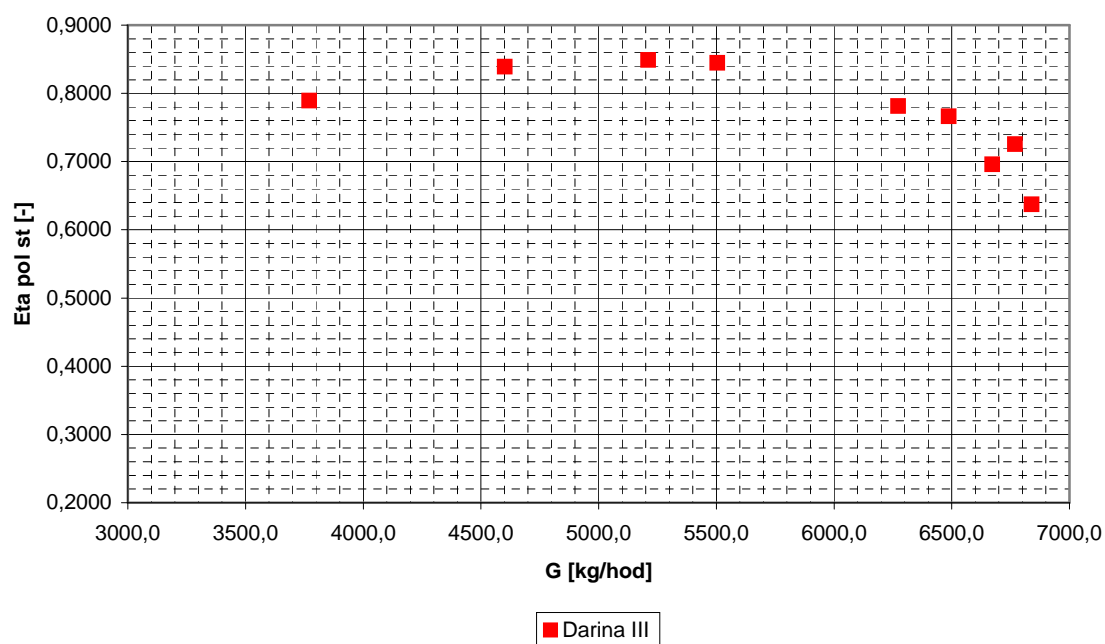
Graf 3.

Tlak na výstupu $p_{7c} = f(G)$, $I/D2=3\%$, $M=0.9$, 353V1S

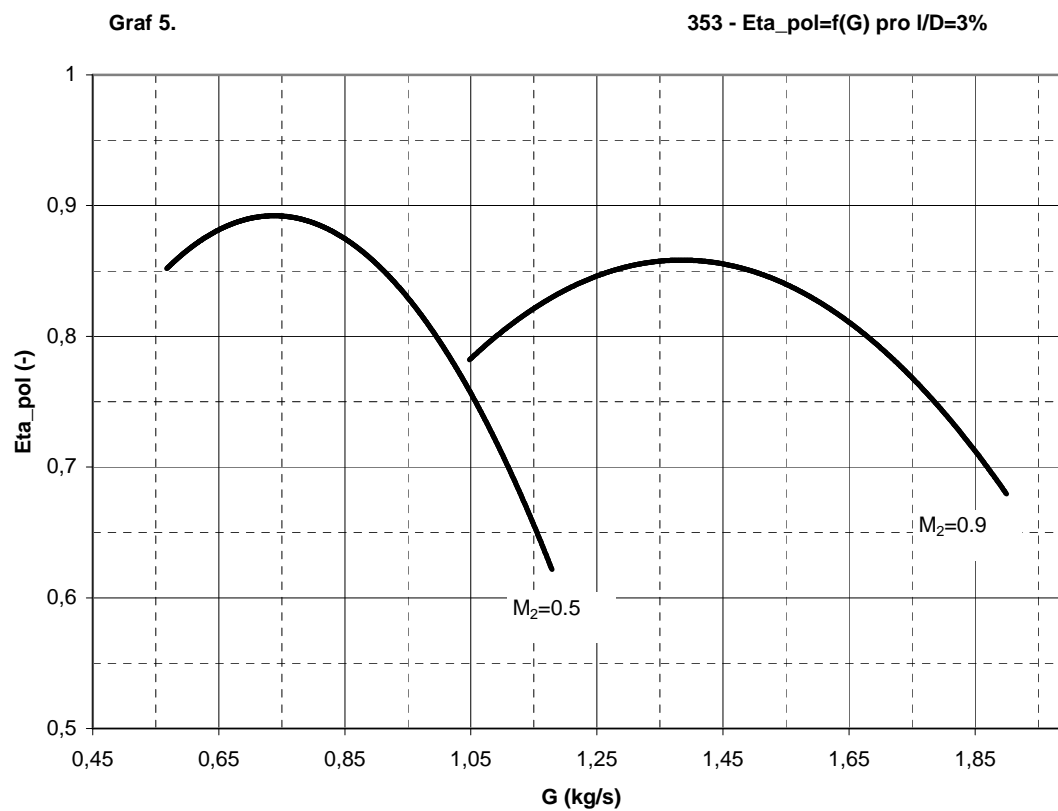


Graf 4.

Účinnost stupně (polytropická, bez mech. ztrát v ložiskách) $\eta_{pol.st.} = f(G)$, $I/D2=3\%$, $M=0.9$, 353V1S



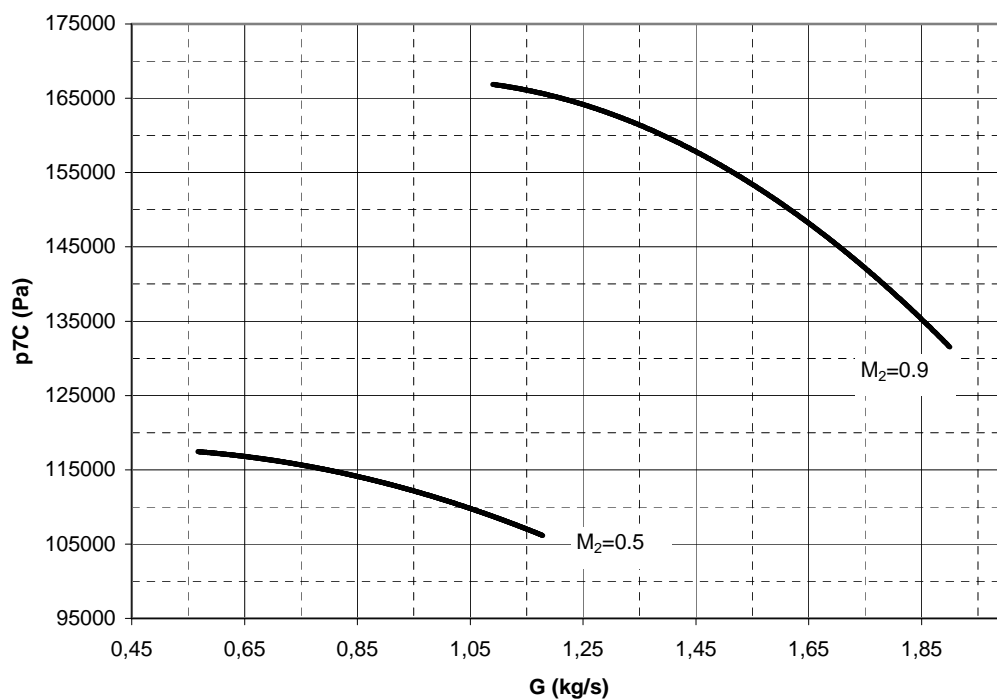
Závislost polytropické účinnosti na hmotnostním průtoku pro srovnávací Machova čísla $M_2 = 0,5$ a $M_2 = 0,9$



Závislost celkového tlaku na výstupu ze stupně (rovina 7) a vnitřního příkonu stupně vypočteného z oteplení v závislosti na hmotnostním průtoku pro Machova čísla $M_2=0,5$ a $M_2=0,9$

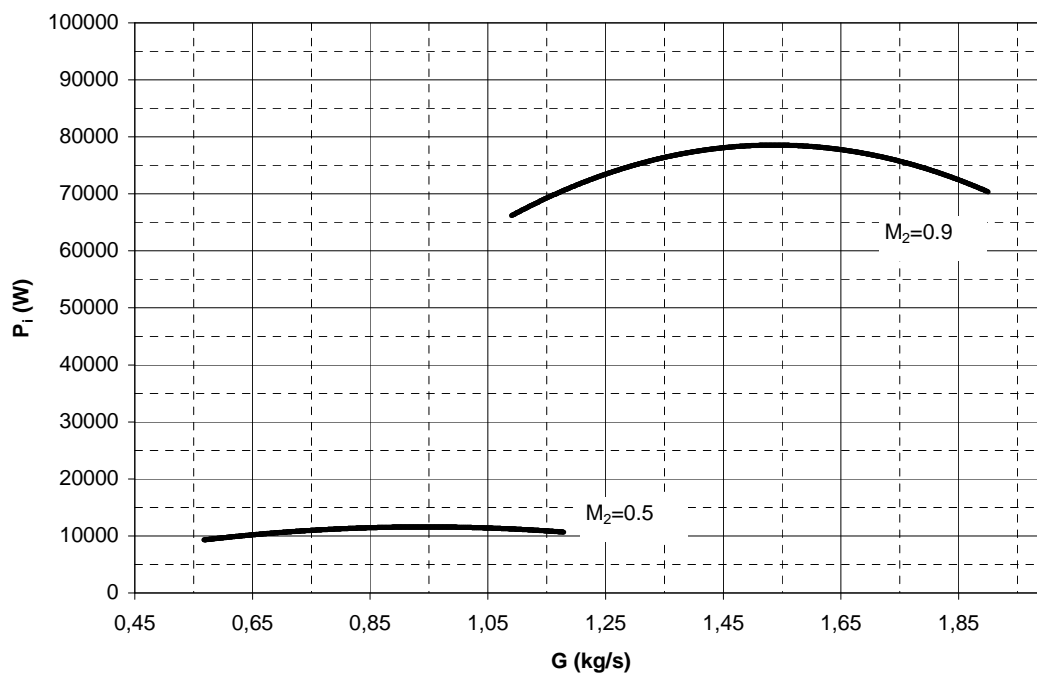
Graf 6.

353 - $p_{7C}=f(G)$ pro $l/D=3\%$



Graf 7.

353 - $P_i=f(G)$ pro $l/D=3\%$



4.3.1 Charakteristiky stupně 353V1U, $l/D_2=1\%$

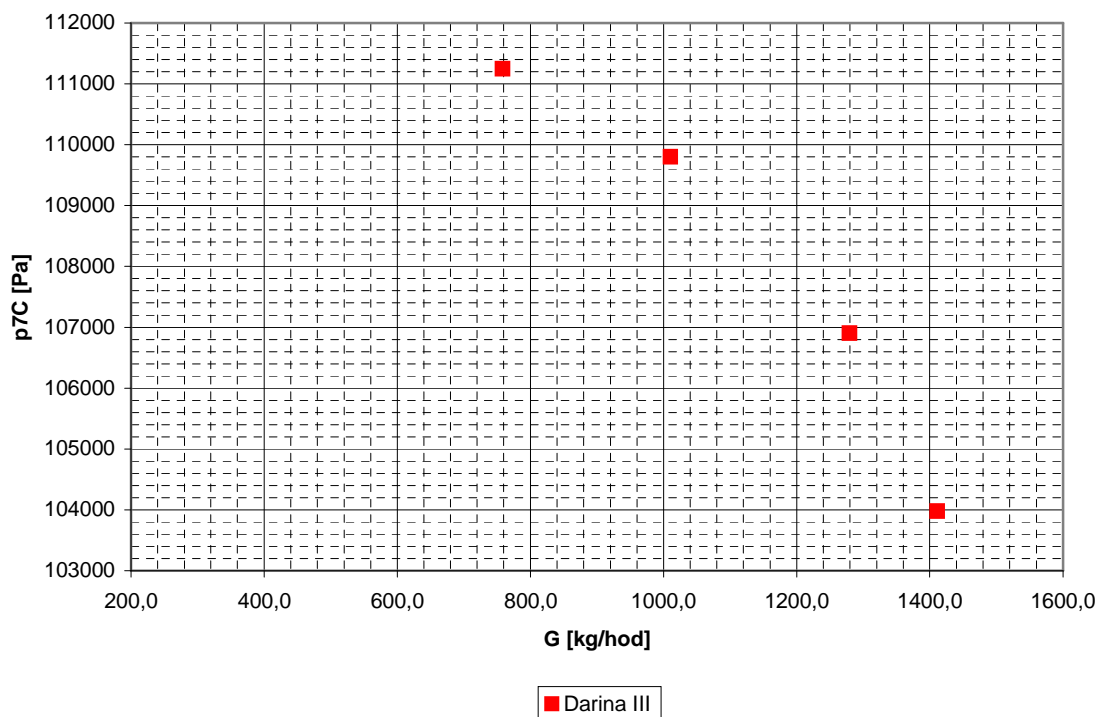
Seznam charakteristik

- Zobrazení naměřených charakteristik $p_{c7} - G$ a $\eta_{pol} - G$ při $M_2=0,5$
- Zobrazení naměřených charakteristik $p_{c7} - G$ a $\eta_{pol} - G$ při $M_2=0,9$
- Závislost polytropické účinnosti na hmotnostním průtoku pro srovnávací Machova čísla $M_2= 0,5$ a $M_2=0,9$
- Závislost celkového tlaku na výstupu ze stupně (rovina 7) a vnitřního příkonu stupně vypočteného z oteplení v závislosti na hmotnostním průtoku pro srovnávací Machova čísla $M_2= 0,5$ a $M_2=0,9$

Zobrazení naměřených charakteristik $p_{c7} - G$ a $\eta_{pol} - G$ při $M_2=0,5$

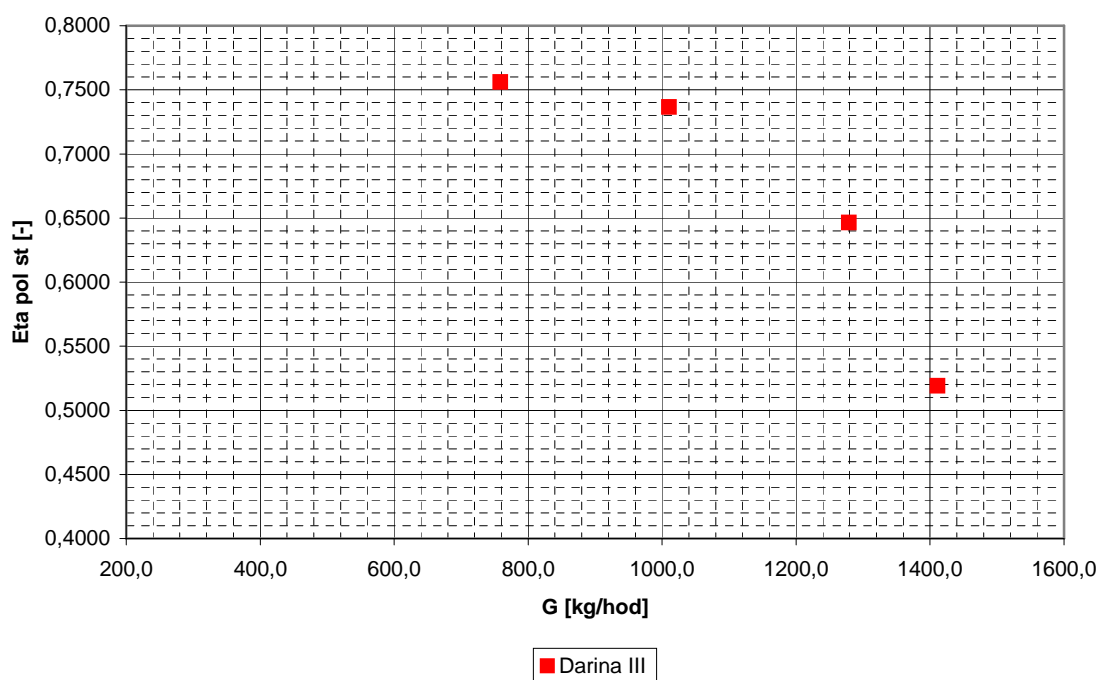
Graf 8.

Tlak na výstupu $p_{7c} = f(G)$, $l/D_2=1\%$, $M=0.5$, 353V1U



Graf 9.

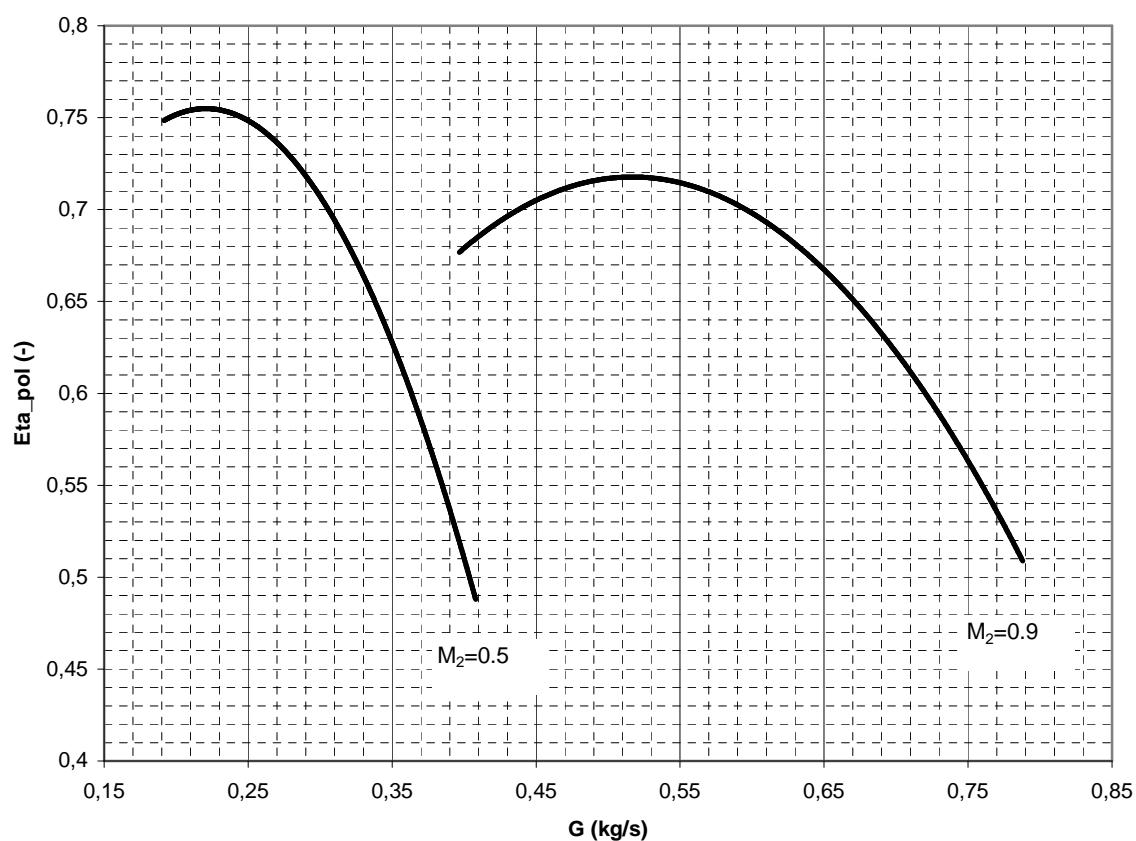
Účinnost stupně (polytropická, vnitřní) $\eta_{pol.st.} = f(G)$, $M=0.5$, 353V1U



**Závislost polytropické účinnosti na hmotnostním průtoku pro srovnávací Machova čísla
 $M_2=0,5$ a $M_2=0,9$**

Graf 10.

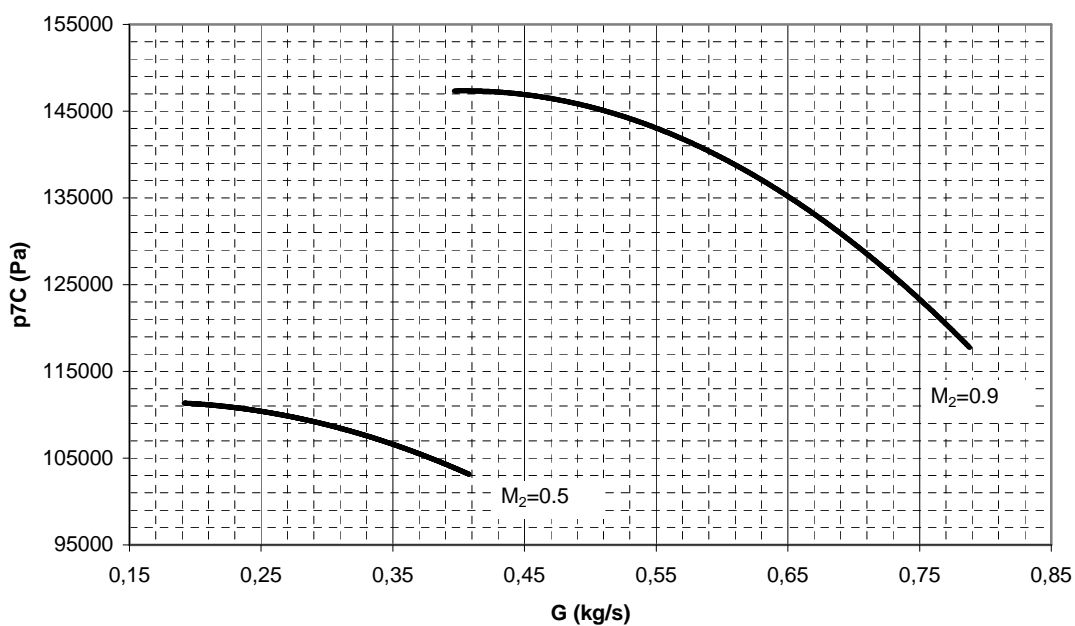
353 - $\text{Eta_pol}=f(G)$ pro $l/D=1\%$



Závislost celkového tlaku na výstupu ze stupně (rovina 7) a vnitřního příkonu stupně vypočteného z oteplení v závislosti na hmotnostním průtoku pro srovnávací Machova čísla $M_2=0,5$ a $M_2=0,9$

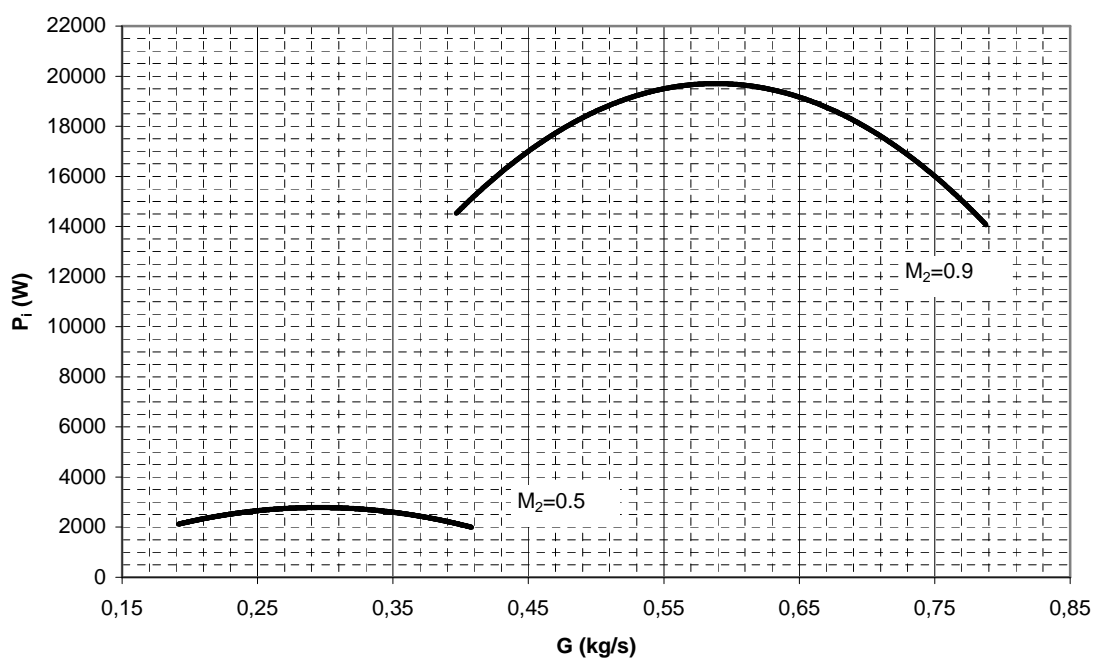
Graf 11.

353 - $p_{7C}=f(G)$ pro $l/D=1\%$



Graf 12.

353 - $P_i=f(G)$ pro $l/D=1\%$



Závěr

V teoretické části je nejprve pohovořeno o historii ČKD a jeho vzniku, přiblížen základní teoretický princip radiálního stupně turbokompresoru s obecnými vztahy.

Dále byl proveden popis měření a popis vyhodnocovací techniky naměřených hodnot.

Pro jeden bod, do každé charakteristiky stupně 353V1S pro Machovo číslo 0,9, byly číselně vypočteny hodnoty, které se následně dosadily do zpracovávaných charakteristik. Z důvodu rozsahu práce nebylo možné zahrnout další výpočty. Následující body charakteristik jsou vyneseny pouze v grafických závislostech. Z grafu 1, 2, 3, 4 na straně 41, 42 a z grafu 8, 9 na straně 46 je vidět, že byly naměřeny hodnoty, které lze použít k dalšímu vyhodnocení. V grafech 5, 6, 7 a grafech 10, 11, 12 jsou uvedeny zpracované charakteristiky, kde jsou naměřené body nahrazeny plynulou křivkou.

Jako výsledek byly získány závislosti, které lze využít k návrhu turbokompresoru, a tyto charakteristiky budou zapracovány do návrhového softwaru (NRK) v ČKD Nové Energo.

Literatura

- [1] Misárek, D.: Turbokompresory. SNTL, Praha 1963
- [2] Firemní materiály ČKD Kompresory a.s.
- [3] Firemní materiály ČKD NOVÉ ENERGO a.s.
- [4] Šmíd, V.; Šídlo, P.: Turbokompresory a ventilátory (Turbokompresory). Ediční středisko ČVUT, Praha 1990
- [5] Budlovský, J.; Ambrož, J.; Dvořák, L.: Tepelné turbíny a turbokompresory. Ediční středisko ČVUT, Praha 1987
- [6] Liška, A.; Novák, P.: Kompresory. Vydavatelství ČVUT, Praha 1999
- [7] Šmíd, V.: Teorie proudových strojů. Ediční středisko ČVUT, Praha 1984
- [8] Mayer, J. a kol.: Energetické stroje. SNTL, Praha 1969
- [9] Kadrnožka, J.: Tepelné turbíny a kompresory 1. Akademické nakladatelství CERM, Brno 2004
- [10] Nožička, J.: Základy termomechaniky. Vydavatelství ČVUT, Praha 2001
- [11] Nožička, J.: Mechanika tekutin. Vydavatelství ČVUT, Praha 2004
- [12] Navrhování radiálních stupňů turbokompresorů. Dům techniky ČSVTS Praha, Praha 1988
- [13] Cyrus, V.; Pelnář, J.; Wurst, P.: Technický protokol. AHT Energetika s. r. o., Praha 2008
- [14] Oldřich, J.; Kosprdová, J.; Vlček, P.; Tětek, J.; Všolák, J.; Ota, J.; Novák, P.: Závěrečná zpráva o řešení projektu v programu „IMPULS“ v roce 2008 zpracovaném v rámci účelové podpory Ministerstva obchodu a průmyslu. Praha 2009
- [15] Historie ČKD [online]. 2009 [cit. 4-5-2009].
Dostupný z WWW :< <http://www.ckd.cz/historie-ckd> >
- [16] Hučko, B.: Přednáška číslo 4. - Turbokompresory, turbodúchadlá a ventilátory [online]. 2009 [cit. 2-3-2009]. Katedra mechaniky FEI STU Bratislava
Dostupný z WWW :
<http://aladin.elf.stuba.sk/Katedry/KMECH/slovakversion/Predmety/ELEKTRARNE_I/>
- [17] Kolben, V.; Daněk, J.; Žák, P.: Historie ČKD, Praha 2000
- [18] Dvořák, L.: Energetické stroje a zařízení. Vydavatelství ČVUT, Praha 1987
- [19] Ris, V. F.: Centroběžnye kompressornye mašiny. Mašinostrojenie, Leningrad 1987
- [20] norma ASME PTC 10-1997

- [21] JSP Měření a regulace [online]. 2009 [cit. 20-12-2009].
Dostupný z WWW :< <http://www.jsp.cz/showdoc.do?docid=359>>

"TD DARINA KOLO 353V1 MACH 0,9"

"Format: List"

"235 - pocet opakovani"

"005 - pocet opakovani"

Scan: 19.03.2009 08:41:40.687

DS11:	.1820000E+03	Pa
ETA:	.1000000E+01	
NSPE:	.2744000E+02	kw
NSVE:	.3248000E+02	kw
OTG:	.7460000E+04	l/min
OTM:	.7519000E+04	l/min
P62:	.6884000E+02	kPa
P64:	.9703000E+02	kPa
P651:	.1087000E+03	kPa
P652:	.1425000E+02	kPa
PBAR:	.9973500E+05	Pa
PC001:	.9938500E+05	Pa
PC002:	.9960100E+05	Pa
PC003:	.9950100E+05	Pa
PC004:	.9764500E+05	Pa
PC401:	.4443000E+04	Pa
PC401D:	-.1724000E+04	Pa
PC402:	.3941000E+04	Pa
PC402D:	-.2226000E+04	Pa
PC403:	.4497000E+04	Pa
PC403D:	-.1670000E+04	Pa
PC501:	.3989000E+04	Pa
PC501D:	-.1467000E+04	Pa
PC502:	.3245000E+04	Pa
PC502D:	-.2211000E+04	Pa
PC503:	.3106000E+04	Pa
PC503D:	-.2351000E+04	Pa
PC601:	.5026000E+04	Pa
PC601D:	-.3560000E+03	Pa
PC602:	.5030000E+04	Pa
PC602D:	-.3510000E+03	Pa
PC603:	.5086000E+04	Pa
PC603D:	-.2960000E+03	Pa
PC701:	.6506000E+04	Pa
PC702:	.5530000E+03	Pa
PC703:	.5988000E+04	Pa
PC704:	.6302000E+04	Pa
PC705:	.5916000E+04	Pa
PC706:	.6197000E+04	Pa
PC707:	-.3660000E+03	Pa
PC708:	.6248000E+04	Pa
PMAZ:	.2339600E+03	kPa
PW:	.4490000E+03	kPa
PS001:	.9568400E+05	Pa
PS002:	.9574400E+05	Pa
PS003:	.9576800E+05	Pa
PS004:	.9544200E+05	Pa
PS11:	.9977800E+05	Pa
PS12R:	.3018000E+04	Pa
PS401:	.6167000E+04	Pa
PS402:	.5942000E+04	Pa
PS402D:	-.2250000E+03	Pa
PS403:	.5946000E+04	Pa
PS403D:	-.2210000E+03	Pa
PS404:	.7956000E+04	Pa
PS404D:	.1790000E+04	Pa

1.TXT

PS405:	.1282200E+05	Pa
PS405D:	.6656000E+04	Pa
PS406:	.6063000E+04	Pa
PS406D:	-.1030000E+03	Pa
PS501:	.5456000E+04	Pa
PS502:	.5459000E+04	Pa
PS502D:	.3000000E+01	Pa
PS503:	.5444000E+04	Pa
PS503D:	-.1200000E+02	Pa
PS504:	.5507000E+04	Pa
PS504D:	.5100000E+02	Pa
PS505:	.5540000E+04	Pa
PS505D:	.8400000E+02	Pa
PS506:	.5542000E+04	Pa
PS506D:	.8600000E+02	Pa
PS601:	.5381000E+04	Pa
PS602:	.5458000E+04	Pa
PS602D:	.7700000E+02	Pa
PS603:	.5482000E+04	Pa
PS603D:	.1010000E+03	Pa
PS701:	.7980000E+03	Pa
PS702:	.6061000E+04	Pa
PS703:	.2840000E+03	Pa
PS704:	.5730000E+03	Pa
PS705:	.5272000E+04	Pa
PS706:	.5333000E+04	Pa
PS707:	.5164000E+04	Pa
PS708:	.5245000E+04	Pa
PSM01:	.5642000E+04	Pa
PSM02:	.6029000E+04	Pa
PSM02D:	.3870000E+03	Pa
PSM03:	.6403000E+04	Pa
PSM03D:	.7610000E+03	Pa
PSM04:	.5985000E+04	Pa
PSM04D:	.3430000E+03	Pa
PSM05:	.5832000E+04	Pa
PSM05D:	.1900000E+03	Pa
PSM06:	.5869000E+04	Pa
PSM06D:	.2270000E+03	Pa
PSM07:	.6029000E+04	Pa
PSM07D:	.3870000E+03	Pa
PSM08:	.8307000E+04	Pa
PSM08D:	.2665000E+04	Pa
PSM09:	.6349000E+04	Pa
PSM09D:	.7070000E+03	Pa
PSM10:	.6190000E+04	Pa
PSM10D:	.5480000E+03	Pa
PSM11:	.5747000E+04	Pa
PSM11D:	.1050000E+03	Pa
PSM12:	.6190000E+04	Pa
PSM12D:	.5480000E+03	Pa
PT411:	.4284000E+04	Pa
PT411D:	-.1883000E+04	Pa
PT412:	.4673000E+04	Pa
PT412D:	-.1494000E+04	Pa
PT413:	.6501000E+04	Pa
PT413D:	.3350000E+03	Pa
PT421:	.4523000E+04	Pa
PT421D:	-.1644000E+04	Pa
PT422:	.5915000E+04	Pa
PT422D:	-.2520000E+03	Pa
PT423:	.6630000E+04	Pa
PT423D:	.4640000E+03	Pa
PT431:	.4203000E+04	Pa
PT431D:	-.1964000E+04	Pa
PT432:	.4971000E+04	Pa
PT432D:	-.1196000E+04	Pa
PT433:	.6081000E+04	Pa

1.TXT

PT433D:	- .8500000E+02	Pa
PT511:	.3344000E+04	Pa
PT511D:	- .2112000E+04	Pa
PT512:	.4358000E+04	Pa
PT512D:	- .1098000E+04	Pa
PT513:	.5332000E+04	Pa
PT513D:	- .1250000E+03	Pa
PT521:	.3233000E+04	Pa
PT521D:	- .2223000E+04	Pa
PT522:	.4096000E+04	Pa
PT522D:	- .1360000E+04	Pa
PT523:	.5753000E+04	Pa
PT523D:	.2970000E+03	Pa
PT531:	.5462000E+04	Pa
PT531D:	.6000000E+01	A
PT532:	.4027000E+04	Pa
PT532D:	- .1430000E+04	Pa
PT533:	.6124000E+04	Pa
PT533D:	.6680000E+03	Pa
Q62:	.5127000E+02	l/min
Q64:	.7588000E+02	l/min
RES:	.0000000E+00	
T7:	.3242000E+02	°C
T12:	.3142000E+02	°C
T111:	.2265000E+02	°C
TL1:	.4947000E+02	°C
TL2:	.4576000E+02	°C
TL3:	.3941000E+02	°C
TL4:	.4576000E+02	°C
TM:	.1180000E+02	°C
TM1:	.3891000E+02	°C
TM2:	.4630000E+02	°C
TM402:	.3213000E+02	°C
TM403:	.3290000E+02	°C
TM404:	.3290000E+02	°C
TM701:	.3299000E+02	°C
TM702:	.3184000E+02	°C
TM703:	.3186000E+02	°C
TM704:	.3258000E+02	°C
TMAZ:	.3482000E+02	°C
TMB01:	.2235000E+02	°C
TMB02:	.2235000E+02	°C
TMB03:	.2232000E+02	°C
TMB04:	.2240000E+02	°C
TP1:	.4372000E+02	°C